

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/002264

International filing date: 15 February 2005 (15.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-038833  
Filing date: 16 February 2004 (16.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 07 April 2005 (07.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

16.02.2005

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2 0 0 4 年 2 月 1 6 日

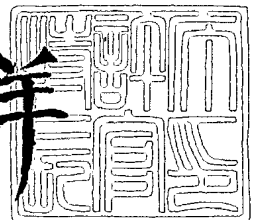
出 願 番 号  
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 0 3 8 8 3 3  
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 4 - 0 3 8 8 3 3]

出 願 人  
Applicant(s): 株式会社日立メディコ

2 0 0 5 年 3 月 2 4 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川 洋



【書類名】 特許願  
【整理番号】 03099  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 A61B 6/03  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区内神田 1 丁目 1 番 1 4 号  
                        株式会社日立メデイコ内  
    【氏名】 後藤 大雅  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区内神田 1 丁目 1 番 1 4 号  
                        株式会社日立メデイコ内  
    【氏名】 宮崎 靖  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区内神田 1 丁目 1 番 1 4 号  
                        株式会社日立メデイコ内  
    【氏名】 廣川 浩一  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000153498  
    【氏名又は名称】 株式会社日立メデイコ  
【代理人】  
    【識別番号】 100114166  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 高橋 浩三  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 083391  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1

## 【書類名】 特許請求の範囲

## 【請求項 1】

被対象物を透過した透過線を二次元的に配列された検出手段で検出し、検出された投影データから前記被対象物の関心領域の断層撮影像を作成する断層撮影像の再構成方法において、

補正角度幅インデックス  $\epsilon$  によって決定される補正角度幅  $\epsilon \pi$  と逆投影位相幅インデックス  $F$  によって決定される逆投影位相幅  $2 F \pi$  を設定するステップと、

前記補正角度幅  $\epsilon \pi$  及び前記逆投影位相幅  $2 F \pi$  に応じた重み係数を求めるステップと、

前記投影データに対して前記重み係数に基づいた重み付け処理を実行して重み付けされた投影データを求めるステップと、

前記重み付けされた投影データに基づいて前記断層撮影像を再構成するステップとを含むことを特徴とする断層撮影像の再構成方法。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載された断層撮影像の再構成方法において、並び替え処理によって得られたパラレルビームに基づいてパラレルビーム再構成するための前記重み関数  $w(\theta)$  は、チャンネル方向に同一の形状となる重み関数で構成され、

前記投影データ検出時の位相を  $\theta$  とした場合に、補正角度幅  $\epsilon \pi$  [rad] ( $\epsilon$  は補正角度幅インデックス) 及び  $2^{(N-1)} \leq F - \epsilon / 2 < 2^N$  ( $N$  は 0 以上の整数) から得られる  $N$  を用いて、

$$w(\theta)=0$$

$$\text{if } [\theta < P_0 \pi]$$

$$w(\theta)=(P_1 \pi + \theta) W_1 / (\epsilon \pi)$$

$$\text{if } [P_0 \pi \leq \theta < P_1 \pi, \epsilon > 0]$$

$$w(\theta)=0$$

$$\text{if } [P_0 \pi \leq \theta < P_1 \pi, \epsilon = 0]$$

$$w(\theta)=W_1 * V_2 * 2 / \epsilon$$

$$\text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi, \epsilon > 0, V_1 = 0]$$

$$w(\theta)=((\theta - P_1 \pi) * (W_1 * 4 / \epsilon) / 2 \pi) + W_1 * V_2 * 2 / \epsilon$$

$$\text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi, \epsilon > 0, V_1 \neq 0]$$

$$w(\theta)=W_1$$

$$\text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi, \epsilon = 0]$$

$$w(\theta)=((\theta - P_3 \pi) * W_1 / (\epsilon \pi)) + W_2$$

$$\text{if } [P_2 \pi \leq \theta < P_3 \pi, \epsilon > 0]$$

$$w(\theta)=W_2$$

$$\text{if } [P_3 \pi \leq \theta < P_4 \pi]$$

$$w(\theta)=((P_4 \pi - \theta) * W_1 / (\epsilon \pi)) + W_2$$

$$\text{if } [P_4 \pi \leq \theta < P_5 \pi, \epsilon > 0]$$

$$w(\theta)=W_1 * V_2 * 2 / \epsilon$$

$$\text{if } [P_5 \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon > 0, V_1 = 0]$$

$$w(\theta)=((P_6 \pi - \theta) * (W_1 * 4 / \epsilon) / 2 \pi) + W_1 * V_2 * 2 / \epsilon$$

$$\text{if } [P_5 \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon > 0, V_1 \neq 0]$$

$$w(\theta)=W_1$$

$$\text{if } [P_5 \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon = 0]$$

$$w(\theta)=(P_7 \pi - \theta) W_1 / (\epsilon \pi)$$

$$\text{if } [P_6 \pi \leq \theta < P_7 \pi, \epsilon > 0]$$

$$w(\theta)=0$$

$$\text{if } [P_6 \pi \leq \theta < P_7 \pi, \epsilon = 0]$$

$$w(\theta)=0$$

$$\text{if } [P_7 \pi \leq \theta]$$

ここで、上式における各変数は

$V1 = \epsilon - F + 2^{(N-1)}$	if $[\epsilon - F + 2^{(N-1)}] > 0]$
$V2 = \epsilon / 2 - V1$	
$M = 2^N$	
$W1 = 1/2^N$	
$W2 = 1/2^{(N-1)}$	if $[\epsilon \leq 0]$
$W2 = 2 * W1$	if $[\epsilon > 0, F < M]$
$W2 = (2 * (M - F) + \epsilon) * W1 / \epsilon + W1$	if $[\epsilon > 0, M \leq F]$
$AA = -F$	
$BB = -F + \epsilon$	
$CC = M - F$	
$DD = M - F + \epsilon$	
$EE = F - M - \epsilon$	
$FF = F - M$	
$GG = F - \epsilon$	
$HH = F$	
$P_0 = AA$	if $[F < M/2 + \epsilon/2]$
$P_1 = BB$	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$
$P_1 = EE$	if $[M/2 + \epsilon \leq F]$
$P_1 = BB$	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$
$P_2 = BB$	if $[M/2 + \epsilon \leq F < M + \epsilon/2]$
$P_2 = EE$	if $[M + \epsilon/2 \leq F]$
$P_2 = CC$	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M]$
$P_3 = FF$	if $[M \leq F < M + \epsilon/2]$
$P_3 = CC$	if $[M + \epsilon/2 \leq F]$
$P_3 = EE$	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M]$
$P_4 = CC$	if $[M \leq F < M + \epsilon/2]$
$P_4 = FF$	if $[M + \epsilon/2 \leq F]$
$P_4 = DD$	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$
$P_5 = GG$	if $[M/2 + \epsilon \leq F < M + \epsilon/2]$
$P_5 = DD$	if $[M + \epsilon/2 \leq F]$
$P_5 = FF$	if $[F < M/2 + \epsilon/2]$
$P_6 = GG$	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$
$P_6 = DD$	if $[M/2 + \epsilon \leq F]$
$P_6 = GG$	
$P_7 = HH$	

の各式によって決定されることを特徴とする断層撮影像の再構成方法。

### 【請求項 3】

請求項 1 に記載された断層撮影像の再構成方法において、ファンビームの投影位相を  $\theta$ 、ファン角度を  $\gamma$  とする場合のファンビーム再構成用の前記重み関数  $w(\theta, \gamma)$  は、補正角度幅  $\epsilon \pi$  [rad] ( $\epsilon$  は補正角度幅インデックス) 及び  $2^{(N-1)} \leq F - \epsilon/2 < 2^N$  ( $N$  は 0 以上の整数) から得られる  $N$  を用いて、

$w(\theta, \gamma) = 0$	if $[\theta < P_0 \pi]$
$w(\theta, \gamma) = (P_7 \pi + \theta) W1 / (\epsilon \pi)$	if $[P_0 \pi \leq \theta < P_1 \pi, \epsilon > 0]$
$w(\theta, \gamma) = 0$	if $[P_0 \pi \leq \theta < P_1 \pi, \epsilon = 0]$
$w(\theta, \gamma) = W1 * V2 * 2 / \epsilon$	

$$w(\theta, \gamma) = ((\theta - P_1 \pi) * (W1 * 4 / \epsilon) / 2 \pi) + W1 * V2 * 2 / \epsilon$$

$$w(\theta, \gamma) = W1$$

$$w(\theta, \gamma) = ((\theta - P_3 \pi - \alpha \pi) * W1 / (\epsilon \pi)) + W2$$

$$w(\theta, \gamma) = W2$$

$$w(\theta, \gamma) = ((P_4 \pi + \alpha \pi - \theta) * W1 / (\epsilon \pi)) + W2$$

$$w(\theta, \gamma) = W1 * V2 * 2 / \epsilon$$

$$w(\theta, \gamma) = ((P_6 \pi - \theta) * (W1 * 4 / \epsilon) / 2 \pi) + W1 * V2 * 2 / \epsilon$$

$$w(\theta, \gamma) = W1$$

$$w(\theta, \gamma) = (P_7 \pi - \theta) W1 / (\epsilon \pi)$$

$$w(\theta, \gamma) = 0$$

$$w(\theta, \gamma) = 0$$

if  $[P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi + \alpha \pi, \epsilon > 0, V1 = 0]$   
 if  $[P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi + \alpha \pi, \epsilon > 0, V1 \neq 0]$   
 if  $[P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi + \alpha \pi, \epsilon = 0]$   
 if  $[P_2 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_3 \pi + \alpha \pi, \epsilon > 0]$   
 if  $[P_3 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_4 \pi + \alpha \pi]$   
 if  $[P_4 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_5 \pi + \alpha \pi, \epsilon > 0]$   
 if  $[P_5 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon > 0, V1 = 0]$   
 if  $[P_5 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon > 0, V1 \neq 0]$   
 if  $[P_5 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon = 0]$   
 if  $[P_6 \pi \leq \theta < P_7 \pi, \epsilon > 0]$   
 if  $[P_6 \pi \leq \theta < P_7 \pi, \epsilon = 0]$   
 if  $[P_7 \pi \leq \theta]$

ここで、上式における各変数は

$$V1 = \epsilon - F + 2^{(N-1)}$$

$$V2 = \epsilon / 2 - V1$$

$$M = 2^N$$

$$W1 = 1 / 2^N$$

$$W2 = 1 / 2^{(N-1)}$$

$$W2 = 2 * W1$$

$$W2 = (2 * (M - F) + \epsilon) * W1 / \epsilon + W1$$

$$\text{if } [\epsilon - F + 2^{(N-1)} > 0]$$

$$\text{if } [\epsilon \leq 0]$$

$$\text{if } [\epsilon > 0, F < M]$$

$$\text{if } [\epsilon > 0, M \leq F]$$

$$AA = -F$$

$$BB = -F + \epsilon$$

$$CC = M - F$$

$$DD = M - F + \epsilon$$

$$EE = F - M - \epsilon$$

$$FF = F - M$$

$$GG = F - \epsilon$$

$$HH = F$$

$$P_0 = AA$$

$$P_1 = BB$$

$$P_1 = EE$$

$$P_1 = BB$$

$$P_2 = BB$$

$$P_2 = EE$$

$$P_2 = CC$$

$$P_3 = FF$$

$$P_3 = CC$$

$$\text{if } [F < M / 2 + \epsilon / 2]$$

$$\text{if } [M / 2 + \epsilon / 2 \leq F < M / 2 + \epsilon]$$

$$\text{if } [M / 2 + \epsilon \leq F]$$

$$\text{if } [M / 2 + \epsilon / 2 \leq F < M / 2 + \epsilon]$$

$$\text{if } [M / 2 + \epsilon \leq F < M + \epsilon / 2]$$

$$\text{if } [M + \epsilon / 2 \leq F]$$

$$\text{if } [M / 2 + \epsilon / 2 \leq F < M]$$

$$\text{if } [M \leq F < M + \epsilon / 2]$$

$P_3 = EE$	if $[M + \epsilon / 2 \leq F]$
$P_4 = CC$	if $[M/2 + \epsilon / 2 \leq F < M]$
$P_4 = FF$	if $[M \leq F < M + \epsilon / 2]$
$P_4 = DD$	if $[M + \epsilon / 2 \leq F]$
$P_5 = GG$	if $[M/2 + \epsilon / 2 \leq F < M/2 + \epsilon]$
$P_5 = DD$	if $[M/2 + \epsilon \leq F < M + \epsilon / 2]$
$P_5 = FF$	if $[M + \epsilon / 2 \leq F]$
$P_6 = GG$	if $[F < M/2 + \epsilon / 2]$
$P_6 = DD$	if $[M/2 + \epsilon / 2 \leq F < M/2 + \epsilon]$
$P_6 = GG$	if $[M/2 + \epsilon \leq F]$
$P_7 = HH$	

の各式によって決定されることを特徴とする断層撮影像の再構成方法。

【請求項 4】

請求項 1、2 又は 3 に記載された断層撮影像の再構成方法を搭載したことを特徴とする断層撮影装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】断層撮影像の再構成方法及び断層撮影装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、ファンビームやコーンビームを用いたコンピュータ断層撮影装置に係り、特に  $\pi$  [rad] 以上の逆投影位相幅の投影データから断層撮影像を再構成するコンピュータ断層撮影装置に関する。

【背景技術】

【0002】

X線CT装置は、X線源から照射され、被検体を透過したX線をX線源に対向する位置に配置されたX線検出器で受光し投影データを取得し、この投影データを再構成することで被検体の内部を非破壊的に画像化している。図1は、単一列検出器型X線コンピュータ断層撮影装置(SDCT)と多列検出器型X線コンピュータ断層撮影装置(MDCT)との基本的な構成の違いを示す図である。このX線CT装置では、図1に示すように、X線源10に対して1次元(線)状に配置された検出器11や2次元(面)状に配置された検出器12が用いられる。2次元に配置された検出器12は、1次元に配置された検出器11が複数配置されていると見なすことができるため、検出器素子が1次元に配置された検出器11を単一列検出器(Single Detector)、検出器素子が2次元に配置された検出器12を多列検出器(Multi Detector)などと呼ぶ。また、単一列検出器11を用いたX線CT装置はファンビームCT装置やSDCT装置と呼ばれ、多列検出器12を用いたX線CT装置はコーンビームCT装置やMDCT装置などと呼ばれる。X線CT装置において、X線の周回軸方向の照射視野幅は、この検出器の周回軸方向の全長やX線の遮蔽(コリメーション)などによって制限される。

【0003】

図2は、X線CT装置のジオメトリを説明するための図である。ファンビームCT(SDCT)装置には、一般に、図2に示すようなX線源10から検出器素子111までの距離及び隣接する検出器素子111, 112へ向かう2本のビームが成す角 $\Delta\gamma$ が等しくなるような円弧状に配置された検出器(円弧検出器)が用いられる。一方、コーンビームCT(MDCT)装置には、ファンビームCT装置で用いられる円弧検出器を周回軸方向に複数配置した検出器(円弧検出器)を用いたものやX線源10から周回軸13へ向かうX線ビームに対して垂直な平面状に配置された検出器(平面検出器)を用いたものが存在する。これ以降は、円弧検出器を用いたCT装置を対象として説明する。

【0004】

図3は、X線CT装置のファン角を説明するための図である。図3に示された角度 $\gamma$ は、ファン角と呼ばれるものであり、図のように周回軸方向から見て、X線源(焦点)10から周回軸13へ向かう中心ビーム14と、対象となるビーム15との成す角度のことである。角度 $\gamma_m$ は、中心ビーム14と、検出器12の限界点に対するビーム16とが成すファン角のことであり、最大ファン角と呼ぶ。検出器12の限界点、すなわち最大ファン角は、X線CT装置の遮蔽(コリメーション)や検出器12の円弧長などの要因によって生じるものである。

【0005】

図4は、X線CT装置における撮影方式を説明するための図である。図4(a)に示したものは、最もシンプルなX線CT装置における撮影方式を示すものであり、被検体を中心にして対向するX線源及び検出器を周回軸zを中心に $2\pi$  [rad]の範囲に亘り周回させて撮影するノーマルスキャン方式である。このノーマルスキャン方式によって得られる投影データのスキャン範囲は円周軌道41のような $2\pi$  [rad]である。当初のX線CT装置では、回転盤(回転部)とガントリ(静止部)を繋ぐ電氣的ケーブル等の制限により、撮影のための撮影系の周回運動は1回転程度が限界であった。しかしながら、スリッピングを用いたものが登場することで、電氣的ケーブルの制限を受けなくなり、X線源及び検出器を任意の複数周回を連続で回転させることができるようになった。そのた



め、このようなX線CT装置で得られる投影データのスキャン範囲は $2\pi$  [rad] 以上が可能である。

#### 【0006】

図4(b)は、寝台を移動させながら、対向するX線源及び検出器からなる撮影系を周回させることで、被検体を中心に螺旋状軌跡42のように撮影を行うことを可能としたらせんスキャン方式の概略を示す。このらせんスキャン方式では、撮影系が1回転する間に、寝台が撮影系に対して垂直な方向(周回軸z方向)に相対的に移動するものであり、このときの周回軸z方向への移動速度を寝台移動速度Tとして定義している。また、らせんスキャン方式では、撮影性能を示す指標として、撮影系が1回転する間に寝台が撮影系に対して相対的に移動する距離が、検出器素子の周回軸位置における周回軸方向幅に対する比をらせんピッチHPとして定義している。また、撮影性能を示す別の指標として、撮影系が1回転する間に寝台が撮影系に対して相対的に移動する距離が、検出器の周回軸方向全長に対する比をビームピッチBPとして定義している。このらせんピッチHPやビームピッチBPが高いほど、周回軸方向における同範囲を短時間に撮影することができるようになり、性能が高いということを示すことになる。

#### 【0007】

図5は、撮影時間と被検体の動きを説明するための図である。被検体の撮影に際し、被検体が不動であることがデータ矛盾を生じないための理想状態である。しかしながら、被検体が人間である場合には、心拍動や呼吸動、さらには血流などの影響によりデータ矛盾を生じる。特に呼吸動による影響は顕著であり、通常、呼吸動の影響を受ける部位を撮影する際には、撮影中に息止めを行う。しかしながら、息止め時間には限界があり、生きた人間における無限の息止めは不可能である。そのため、被検体の負担を低減するために撮影範囲を短時間に撮影することが必要となる。

#### 【0008】

ここで、データ矛盾が与える画像への影響は、1回転撮影し得られた投影データにおいて、連続であるべき投影データの撮影開始、撮影終了位相における不連続性が、特に顕著に現れる。撮影時に被検体が不動であり、円軌道撮影を行う場合、例えば、撮影された逆投影位相角度幅が $2\pi$  [rad] である撮影データの開始位相と終了位相での不連続性はほとんどないと言える。言い換えれば、ノーマルスキャン方式における理想状態では、撮影開始時位相と撮影終了時位相で投影データは一致し、位相方向に連続となる。しかしながら、心臓の動きや血液の動き(特に、造影剤)などの影響は完全になくすることはできず、図5(a), (b)に示すように、撮影開始時位相( $\beta=0$ )における被検体の部位の形状と、撮影終了時位相( $\beta=2\pi$ )における被検体の部位の形状とが異なる場合には、撮影開始時位相と撮影終了時位相における撮影データの不連続性が生じ、それによって、図5(c)に示す再構成画像のように、ストリークアーチファクト53, 54などの顕著な画質劣化を生じることが知られている。

#### 【0009】

図6は、X線CT装置におけるデータの冗長性を説明するための図である。ファンビームCT装置におけるノーマルスキャン方式(スキャン範囲が $2\pi$  [rad] の撮影)において、離散化されていない連続データで考えた場合、図6(a), (b)に示すように、各位相から照射されたビームにより得られる投影データと、その対向する位相から照射された投影データ、すなわち線積分は一致する。言い換えると、1回転の間に、各位相において同じX線ビーム軌跡で2度撮影されていることに等しい。ここで、この $2\pi$  [rad] 範囲の投影データを用いて再構成した場合、同じデータが2回使用されるため、これをデータの冗長性が「2」であるということにする。このことは、データの冗長性を「1」にすることで、スキャン範囲が $2\pi$  以下での撮影の可能性を示唆するものである。なお、冗長性の数字が小さいほど被曝は低減される。

#### 【0010】

データの冗長性を「1」とする $2\pi$  以下である最小限のスキャン範囲は、図6(c)に示すように、 $\pi + 2\gamma_m$  である。ここで、 $\gamma_m$  は最大ファン角である。しかしながら、こ

のスキャン範囲  $\pi + 2\gamma m$  から得られる投影データに対して、データの冗長性を考慮せずに、スキャン範囲が  $2\pi$  の場合の再構成と同様の再構成をすると、周回位相に応じて異なる、冗長なデータの作用により最終的に得られる画像を歪ませ、画質の劣化を招くことになる。これは、例えば、図7に示すように、放射線源が  $\pi + 2\gamma m$  位相回転して得られたデータから逆投影を行う場合、再構成画素毎に逆投影可能なデータ位相範囲が異なることが原因である。すなわち、画素 a では画素 a を中心に  $\pi$  以上の位相範囲  $\theta a$  のデータ範囲となるが、画素 b では画素 b を中心に  $\pi$  以下の位相範囲  $\theta b$  のデータ範囲しか得られないことになるからである。

#### 【0011】

上述のような冗長なデータに関する問題を解決する方法として、非特許文献1～3及び特許文献1に示すように、投影データの所定の領域に重みを与えるようにしたものが提案されている。例えば、重み関数では、次式(1)

$$w(\beta, \gamma) + w(\pi + \beta + 2\gamma, -\gamma) = 1 \quad (1)$$

を満たすことが要求される。

図8は、最小完全データセットを示すサイノグラムの一例を示す図である。このサイノグラムとは、横軸にファン角  $\gamma$  を、縦軸に周回位相角  $\beta$  を表したマップである。図8において上下に示される三角形の2つの領域は互いに冗長となるデータであり、この領域において上式(1)を満たすような重みを与えることによって冗長性を補正している。

#### 【0012】

冗長データを解決するための重み関数では、最小完全データセット ( $\pi + 2\gamma m$ )、またはフルスキャンデータセット ( $2\pi$ ) からの再構成を実現している。しかしながら、それ以外の中間的なデータセットからの再構成に関しては実現できていない。これを解決するため、実際の物理的な最大ファン角度に依存しない「仮想」のファン角度を設定し、使用することによって、 $\pi + 2\gamma m$  から  $2\pi$  までのスキャン範囲の投影データから再構成を実現しているが、本願の解決課題のひとつである、 $2\pi$  以上のスキャン範囲からの再構成に関しては実現できない。 $2\pi$  を超えるスキャン範囲を実現するためには、既知の異なる重み関数を用い、重み付けしなければならず、スキャン範囲が  $2\pi$  を境に、スキャン範囲が  $2\pi$  より狭い範囲で再構成した結果と  $2\pi$  より広い範囲から再構成した結果とで、ノイズ量やアーチファクト強度など画質特性が異なる、いわゆる画質の不連続点を生ずる。このような、スキャン範囲を変えた場合の画質の不連続点というのは、存在しないほうが望ましい。

#### 【0013】

また、図9に示すように、サイノグラムが仮想サイノグラム上で2つの三角形領域を含む3つ以下の領域に区分され、2つの三角形領域に対して周回位相方向に異なる重みを与えられる場合、重みは、位相方向に三角形形状に変化する重み、台形形状に変化する重み、又は、これらを非線形関数となるように変形した重み形状となり、例えば、スキャン範囲が  $2\pi$  の場合に重み係数が1以下となる領域が増える(例えば、図8と比較)ことによって、全ての重み係数が1の場合と比較して、データ寄与率が大きく低下し、ノイズの顕著な増加をもたらし得る。このような、データ寄与率の低下はできる限り抑制すべきである。

#### 【0014】

図10は、ファンビームからパラレルビームへの並び替えを説明するための図である。画像再構成において、処理を高速に行うために、図10(a)に示すような周回軸方向からみて放射状に照射されるファンビームから、異なる位相、異なるファン角のデータを組み合わせる(並び替える)ことで、図10(b)に示すような周回軸方向から見て並行なパラレルビームへと変換する方法が、しばしば用いられる。再構成法の1つとして多用される逆投影処理(filtered back projection)では、各投影位相(周回位相)において再構成画素を通るX線ビームの検出器上のアドレスが計算される。単一系列検出器を用いたSDCTで考えると、ファンビームの場合には、逆投影処理におけるアドレス計算に、処理時間を要する演算負荷の高い逆三角関数を必要とし、さらに、X

線源と再構成画素間の距離を計算する必要がある。

#### 【0015】

一方、パラレルビームの場合には、ファンビームの場合の逆三角関数が積和演算に置き換えられ、X線源と再構成画素間の距離演算も不要である。このように、ファンビームからパラレルビームへの並び替え処理 (rebinning) は、並び替え処理に要する演算時間の増加に関わらず、後の逆投影演算における演算時間を考えると、高速化のメリットを生じる。周回軸方向から見て、ファンビームからの逆投影処理をファンビーム逆投影、パラレルビームからの逆投影をパラレルビーム逆投影とよぶことにする。このファンビームからパラレルビームへの並び替え手法は、SDCT (ファンビームCT) のみならず、MDCT (コーンビームCT) にも、演算の高速化手法として、適用することができる。しかしながら、並び替え処理 (rebinning) を用いた場合、補間処理により、多少の空間分解能低下を引き起こすことから、ファンビーム逆投影、パラレルビーム逆投影は、一長一短な面を有すると言える。

#### 【0016】

図11は、画像ノイズと撮影時間の関係を示すための図である。ある体軸方向範囲を撮影するために要する時間で定義される撮影時間は、被検体内のある注目点Pで考えた場合に、注目点Pに対する撮影の冗長性が少ないほど短縮され得る。言い換えると、注目点を透過した撮影データがすべて画像生成に使用されると考えると、再構成処理に使用される逆投影位相幅が狭いほど撮影時間が短縮される。一方、画像ノイズ (S/N比) は再構成に用いられる撮影データ量が多いほど低減し、少ないほど増加するなど、撮影データの量に応じて変化する。言い換えると、再構成処理 (逆投影処理) に使用される投影データ位相幅が広いほどノイズが低減し、投影データ位相幅が狭いほどノイズが増大する。以下、再構成で使用される投影データ位相幅を逆投影位相幅とよぶ。しかしながら、画像ノイズを低減するために広い位相範囲を得ることは、同じ場所を冗長に撮影することを意味し、図11に示すように、計測スループット (らせんピッチ、ビームピッチ、寝台移動速度T) の低下を伴う。画像ノイズ量は少ないほど望ましく、撮影時間は短いほど望ましい。しかしながら、上述したように、画像ノイズ量低減と撮影時間短縮はトレードオフの関係にあり、撮影目的によっては両者の関係が不適切となり得る。

【非特許文献1】カール・アール・クロフォード (Carl R. Crawford) とケビン・エフ・キング (Kevin F. King) 著, 「同時的な患者の並進によるCTスキヤニング (Computed tomography scanning with simultaneous patient translation)」, 医学物理学者アメリカン協会 (the scientific journal of the American Association of Physicists in Medicine) 発行, 医学物理学 (Medical Physics), 1990年11月, ボリューム17, 6刊, 967-982頁 (Volume 17, November 1990, Issue 6 pp. 967-982)

【特許文献1】特開2001-299738号公報

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0017】

以上、説明したように、従来の断層撮影装置は、任意の逆投影位相幅での再構成を実現することが困難であり、逆投影位相幅  $2\pi$  を境として画質の不連続性が発生し、撮影データにおける複雑さを伴わない冗長性の補正を行なうことが困難であるという問題を有していた。さらに、被検体の動きによるデータ不連続性によって画質も劣化し、画像のノイズ量を低減すると共に撮影時間を短縮するというトレードオフの関係を調整することも困難であるという問題を有していた。

#### 【0018】

本発明の目的は、上述の課題に鑑み、高画質な断層撮影像を生成することのできる断層

撮画像の再構成方法及び断層撮影装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0019】

本発明に係る断層撮画像の再構成方法の第1の特徴は、被対象物を透過した透過線を二次元的に配列された検出手段で検出し、検出された投影データから前記被対象物の関心領域の断層撮画像を作成する断層撮画像の再構成方法において、補正角度幅インデックス  $\epsilon$  によって決定される補正角度幅  $\epsilon \pi$  と逆投影位相幅インデックス  $F$  によって決定される逆投影位相幅  $2 F \pi$  を設定するステップと、前記補正角度幅  $\epsilon \pi$  及び前記逆投影位相幅  $2 F \pi$  に応じた重み係数を求めるステップと、前記投影データに対して前記重み係数に基づいた重み付け処理を実行して重み付けされた投影データを求めるステップと、前記重み付けされた投影データに基づいて前記断層撮画像を再構成するステップとを含むことである。

この発明では、投影データに対して重みを付けるための重み関数として、0.5以上の値を持つ逆投影位相幅インデックス  $F$  と補正角度幅インデックス  $\epsilon$  を設定することによって、 $\pi$  以上の任意の逆投影位相幅  $2 F \pi$  での重みを実現することができ、また、逆投影位相幅  $2 F \pi$  を  $1.3 \pi$  や  $2 \pi$  などのいかなる値を有する場合においてもデータ端部の不連続性を補正することができるという一定の補正効果を達成させることができる。さらに、重み関数は平行ビームの全てのチャンネル位置、ファンビームのファン角度位置に対応した位置に対して、同一の重み関数を用いることができ、少ないメモリ量で重みを格納することができる。

【0020】

本発明に係る断層撮画像の再構成方法の第2の特徴は、前記第1の特徴に記載の断層撮画像の再構成方法において、並び替え処理によって得られた平行ビームに基づいて平行ビーム再構成するための前記重み関数  $w(\theta)$  は、チャンネル方向に同一の形状となる重み関数で構成され、前記投影データ検出時の位相を  $\theta$  とした場合に、補正角度幅  $\epsilon \pi$  [rad] ( $\epsilon$  は補正角度幅インデックス) 及び  $2^{(N-1)} \leq F - \epsilon / 2 < 2^N$  ( $N$  は0以上の整数) から得られる  $N$  を用いて、

$$w(\theta)=0$$

$$\text{if } [\theta < P_0 \pi]$$

$$w(\theta)=(P_7 \pi + \theta) W_1 / (\epsilon \pi)$$

$$\text{if } [P_0 \pi \leq \theta < P_1 \pi, \epsilon > 0]$$

$$w(\theta)=0$$

$$\text{if } [P_0 \pi \leq \theta < P_1 \pi, \epsilon = 0]$$

$$w(\theta)=W_1 * V_2 * 2 / \epsilon$$

$$\text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi, \epsilon > 0, V_1 = 0]$$

$$w(\theta)=((\theta - P_1 \pi) * (W_1 * 4 / \epsilon) / 2 \pi) + W_1 * V_2 * 2 / \epsilon$$

$$\text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi, \epsilon > 0, V_1 \neq 0]$$

$$w(\theta)=W_1$$

$$\text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi, \epsilon = 0]$$

$$w(\theta)=((\theta - P_3 \pi) * W_1 / (\epsilon \pi)) + W_2$$

$$\text{if } [P_2 \pi \leq \theta < P_3 \pi, \epsilon > 0]$$

$$w(\theta)=W_2$$

$$\text{if } [P_3 \pi \leq \theta < P_4 \pi]$$

$$w(\theta)=((P_4 \pi - \theta) * W_1 / (\epsilon \pi)) + W_2$$

$$\text{if } [P_4 \pi \leq \theta < P_5 \pi, \epsilon > 0]$$

$$w(\theta)=W_1 * V_2 * 2 / \epsilon$$

$$\text{if } [P_5 \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon > 0, V_1 = 0]$$

$$w(\theta)=((P_6 \pi - \theta) * (W_1 * 4 / \epsilon) / 2 \pi) + W_1 * V_2 * 2 / \epsilon$$

$$\text{if } [P_5 \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon > 0, V_1 \neq 0]$$

$$w(\theta)=W_1$$

$$\text{if } [P_5 \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon = 0]$$

$$w(\theta) = (P_7 \pi - \theta) W_1 / (\varepsilon \pi)$$

$$\text{if } [P_6 \pi \leq \theta < P_7 \pi, \varepsilon > 0]$$

$$w(\theta) = 0$$

$$\text{if } [P_6 \pi \leq \theta < P_7 \pi, \varepsilon = 0]$$

$$w(\theta) = 0$$

$$\text{if } [P_7 \pi \leq \theta]$$

ここで、上式における各変数は

$$V_1 = \varepsilon - F + 2^{(N-1)}$$

$$\text{if } [\varepsilon - F + 2^{(N-1)} > 0]$$

$$V_2 = \varepsilon / 2 - V_1$$

$$M = 2^N$$

$$W_1 = 1/2^N$$

$$\text{if } [\varepsilon \leq 0]$$

$$W_2 = 1/2^{(N-1)}$$

$$\text{if } [\varepsilon > 0, F < M]$$

$$W_2 = 2 * W_1$$

$$\text{if } [\varepsilon > 0, M \leq F]$$

$$W_2 = (2 * (M - F) + \varepsilon) * W_1 / \varepsilon + W_1$$

$$AA = -F$$

$$BB = -F + \varepsilon$$

$$CC = M - F$$

$$DD = M - F + \varepsilon$$

$$EE = F - M - \varepsilon$$

$$FF = F - M$$

$$GG = F - \varepsilon$$

$$HH = F$$

$$P_0 = AA$$

$$\text{if } [F < M/2 + \varepsilon/2]$$

$$P_1 = BB$$

$$\text{if } [M/2 + \varepsilon/2 \leq F < M/2 + \varepsilon]$$

$$P_1 = EE$$

$$\text{if } [M/2 + \varepsilon \leq F]$$

$$P_1 = BB$$

$$\text{if } [M/2 + \varepsilon/2 \leq F < M/2 + \varepsilon]$$

$$P_2 = BB$$

$$\text{if } [M/2 + \varepsilon \leq F < M + \varepsilon/2]$$

$$P_2 = EE$$

$$\text{if } [M + \varepsilon/2 \leq F]$$

$$P_2 = CC$$

$$\text{if } [M/2 + \varepsilon/2 \leq F < M]$$

$$P_3 = FF$$

$$\text{if } [M \leq F < M + \varepsilon/2]$$

$$P_3 = CC$$

$$\text{if } [M + \varepsilon/2 \leq F]$$

$$P_3 = EE$$

$$\text{if } [M/2 + \varepsilon/2 \leq F < M]$$

$$P_4 = CC$$

$$\text{if } [M \leq F < M + \varepsilon/2]$$

$$P_4 = FF$$

$$\text{if } [M + \varepsilon/2 \leq F]$$

$$P_4 = DD$$

$$\text{if } [M/2 + \varepsilon/2 \leq F < M/2 + \varepsilon]$$

$$P_5 = GG$$

$$\text{if } [M/2 + \varepsilon \leq F < M + \varepsilon/2]$$

$$P_5 = DD$$

$$\text{if } [M + \varepsilon/2 \leq F]$$

$$P_5 = FF$$

$$\text{if } [F < M/2 + \varepsilon/2]$$

$$P_6 = GG$$

$$\text{if } [M/2 + \varepsilon/2 \leq F < M/2 + \varepsilon]$$

$$P_6 = DD$$

$$\text{if } [M/2 + \varepsilon \leq F]$$

$$P_6 = GG$$

$$P_7 = HH$$

の各式によって決定されることにある。これは、並び替え処理によって得られたパラレルビームに基づいてパラレルビーム再構成するための重み関数として、をより具体的にしたもののである。

#### 【 0 0 2 1 】

本発明に係る断層撮影像の再構成方法の第 3 の特徴は、前記第 1 の特徴に記載の断層撮影像の再構成方法において、ファンビームの投影位相を  $\theta$ 、ファン角度を  $\gamma$  とする場合のファンビーム再構成用の前記重み関数  $w(\theta, \gamma)$  は、補正角度幅  $\varepsilon \pi$  [rad] ( $\varepsilon$  は

補正角度幅インデックス) 及び  $2^{(N-1)} \leq F - \epsilon / 2 < 2^N$  (Nは0以上の整数) から得られるNを用いて、

$$\begin{aligned}
 w(\theta, \gamma) &= 0 && \text{if } [\theta < P_0 \pi] \\
 w(\theta, \gamma) &= (P_7 \pi + \theta) W_1 / (\epsilon \pi) && \text{if } [P_0 \pi \leq \theta < P_1 \pi, \epsilon > 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= 0 && \text{if } [P_0 \pi \leq \theta < P_1 \pi, \epsilon = 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= W_1 * V_2 * 2 / \epsilon && \text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi + \alpha \pi, \epsilon > 0, V_1 = 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= ((\theta - P_1 \pi) * (W_1 * 4 / \epsilon) / 2 \pi) + W_1 * V_2 * 2 / \epsilon && \text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi + \alpha \pi, \epsilon > 0, V_1 \neq 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= W_1 && \text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi + \alpha \pi, \epsilon = 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= ((\theta - P_3 \pi - \alpha \pi) * W_1 / (\epsilon \pi)) + W_2 && \text{if } [P_2 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_3 \pi + \alpha \pi, \epsilon > 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= W_2 && \text{if } [P_3 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_4 \pi + \alpha \pi] \\
 w(\theta, \gamma) &= ((P_4 \pi + \alpha \pi - \theta) * W_1 / (\epsilon \pi)) + W_2 && \text{if } [P_4 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_5 \pi + \alpha \pi, \epsilon > 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= W_1 * V_2 * 2 / \epsilon && \text{if } [P_5 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon > 0, V_1 = 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= ((P_6 \pi - \theta) * (W_1 * 4 / \epsilon) / 2 \pi) + W_1 * V_2 * 2 / \epsilon && \text{if } [P_5 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon > 0, V_1 \neq 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= W_1 && \text{if } [P_5 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon = 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= (P_7 \pi - \theta) W_1 / (\epsilon \pi) && \text{if } [P_6 \pi \leq \theta < P_7 \pi, \epsilon > 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= 0 && \text{if } [P_6 \pi \leq \theta < P_7 \pi, \epsilon = 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= 0 && \text{if } [P_7 \pi \leq \theta]
 \end{aligned}$$

ここで、上式における各変数は

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \epsilon - F + 2^{(N-1)} && \text{if } [\epsilon - F + 2^{(N-1)} > 0] \\
 V_2 &= \epsilon / 2 - V_1 \\
 M &= 2^N \\
 W_1 &= 1 / 2^N \\
 W_2 &= 1 / 2^{(N-1)} && \text{if } [\epsilon \leq 0] \\
 W_2 &= 2 * W_1 && \text{if } [\epsilon > 0, F < M] \\
 W_2 &= (2 * (M - F) + \epsilon) * W_1 / \epsilon + W_1 && \text{if } [\epsilon > 0, M \leq F]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AA &= -F \\
 BB &= -F + \epsilon \\
 CC &= M - F \\
 DD &= M - F + \epsilon \\
 EE &= F - M - \epsilon \\
 FF &= F - M \\
 GG &= F - \epsilon \\
 HH &= F
 \end{aligned}$$

$P_0=AA$	
$P_1=BB$	if $[F < M/2 + \epsilon/2]$
$P_1=EE$	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$
$P_1=BB$	if $[M/2 + \epsilon \leq F]$
$P_2=BB$	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$
$P_2=EE$	if $[M/2 + \epsilon \leq F < M + \epsilon/2]$
$P_2=CC$	if $[M + \epsilon/2 \leq F]$
$P_3=FF$	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M]$
$P_3=CC$	if $[M \leq F < M + \epsilon/2]$
$P_3=EE$	if $[M + \epsilon/2 \leq F]$
$P_4=CC$	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M]$
$P_4=FF$	if $[M \leq F < M + \epsilon/2]$
$P_4=DD$	if $[M + \epsilon/2 \leq F]$
$P_5=GG$	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$
$P_5=DD$	if $[M/2 + \epsilon \leq F < M + \epsilon/2]$
$P_5=FF$	if $[M + \epsilon/2 \leq F]$
$P_6=GG$	if $[F < M/2 + \epsilon/2]$
$P_6=DD$	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$
$P_6=GG$	if $[M/2 + \epsilon \leq F]$
$P_7=HH$	

の各式によって決定されることにある。これは、ファンビームの投影位相を  $\beta$ 、ファン角度を  $\gamma$  とする場合のファンビーム再構成用の重み関数をより具体的にしたものである。

#### 【0022】

本発明に係る断層撮影装置の第4の特徴は、前記第1、2又は3の特徴に記載された断層撮影像の再構成方法を搭載したことである。これは、前述の各再構成方法を実現するためのプログラム等を搭載した断層撮影装置に関するものである。

#### 【発明の効果】

#### 【0023】

本発明に係る断層撮影装置によれば、ファンビーム及び平行ビームのいずれの逆投影にも対応し、かつデータ寄与率を上げた狭い逆投影位相角度幅からデータ冗長性を持たせた広い逆投影位相角度幅までの連続した位相角度幅に適用可能な重み付け関数でありながら、再構成によるデータの不連続性やノイズを解消した高画質な画像を得ることが可能となる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0024】

以下、添付図面を用いて、本発明に係る断層撮影装置の一実施の形態について詳細に説明する。図12は、本発明に係る断層撮影装置の一実施の形態である多列検出器型X線断層撮影装置の全体構成を示す図である。この多列検出器型X線断層撮影装置のスキャン方式は、ローテートーローテート方式（第3世代）であり、大きく分けて、スキナ40と、操作ユニット50と、被検体を載せて移動するための寝台60とから構成されている。

#### 【0025】

スキナ40は、中央制御装置400、X線制御装置401、高電圧発生装置402、高圧スイッチングユニット403、X線発生装置404、X線検出器405、プリアンプ406、スキナ制御装置407、駆動装置408、コリメータ制御装置409、寝台制御装置410、寝台移動計測装置411などで構成されている。操作ユニット50は、表示装置、入力装置、記憶装置などから構成される入出力装置51と、再構成演算装置及び画像処理装置などから構成される演算装置52とで構成される。入力装置は、マウスやキーボードなどで構成された寝台移動速度情報や再構成位置などの計測・再構成パラメータを入力するものであり、記憶装置は、これらの情報を記憶するものであり、表示装置は、これらの情報や再構成画像などの各種データを表示するものである。再構成演算装置は、

多列検出器から得られたデータを処理するものであり、画像処理装置は、再構成画像などに種々の処理を施して表示装置に表示するものである。

#### 【0026】

中央制御装置400は、操作ユニット50の入力装置から撮影条件（寝台移動速度、管電流、管電圧、スライス位置など）や再構成パラメータ（関心領域、再構成画像サイズ、逆投影位相幅、再構成フィルタ関数など）を入力し、その指示に基づいて、撮影に必要な制御信号をX線制御装置401、寝台移動装置410及びスキヤナ制御装置407に送信し、撮影スタート信号を受けて撮影を開始する。撮影が開始されるとX線制御装置401により高電圧発生装置402に制御信号が送られ、高電圧が高圧スイッチングユニット403を介してX線発生装置404に印加され、X線発生装置404から出射したX線は被検体に照射され、その透過光がX線検出器405に入射される。同時に、スキヤナ制御装置407からは、駆動装置408に制御信号が送られ、X線発生装置404、X線検出器405及びプリアンプ406が被検体の周りを周回制御される。一方、寝台制御装置410により被検体を乗せた寝台60が静止することによって、図5（A）のように円軌道スキヤンが行われ、X線発生装置404等の周回軸方向に平行移動することによって、図5（B）のように螺旋軌道スキヤンが行われる。

#### 【0027】

X線発生装置404から出射されたX線は、コリメータ制御装置409によって制御されたコリメータ412によりその照射領域を制限され、被検体内の各組織で吸収（減衰）され、被検体を透過し、X線検出器405で検出される。X線検出器405で検出されたX線は、そこで電流に変換され、プリアンプ405で増幅され、投影データ信号として操作ユニット50の演算装置52に入力される。演算装置52に入力された投影データ信号は、演算装置52内の再構成演算装置で画像再構成処理される。この再構成画像は、入出力装置51内の記憶装置に保存され、入出力装置51の表示装置でCT画像として表示される。

#### 【0028】

図1に示したように、多列検出器型CTでは、単一系列検出器型CTに比べて、が周回軸方向に複数列並べられ、全体としては、単一系列検出器型CTよりも広い検出器を実現しており、より広い範囲を一度に撮影することができる。また、単一系列検出器型CTでは周回軸に対してX線ビームが直交しているが、多列検出器型CTでは、ミッドプレーン（中心列）から離れるに従ってX線が周回軸に対して傾斜角（コーン角）を有するようになっていく。

#### 【0029】

図4に示したように、この実施の形態に係る断層撮影装置は、ノーマルスキャン方式とらせんスキャン方式を実施することができる。図4（A）は、ノーマルスキャン時のX線源の移動軌跡41を示し、図4（B）はらせんスキャン時のX線源の移動軌跡42を示す。図4（a）のようにノーマルスキャン（円軌道）で撮影された場合には、フィルタ補正2次元逆投影を行うことでX線源位置の画像を正確に再現することができる。しかし、図4（b）のようにらせんスキャンによる移動軌跡42で撮影された場合には、被検体が動いた場合と同様に、撮影端部位相におけるデータの不連続性により、フィルタ補正2次元逆投影のみでは、該当位置でストリーク状のアーチファクトを生ずる。そこで、図4（b）のように螺旋軌道で得られたデータに対し、データ補間を用いることで図4（a）のような円軌道データに補正し、その後フィルタ補正2次元逆投影を行う。このように補間を用いることで不連続性を低減した画像を得ることができる。この場合のアーチファクトの程度は、X線源の移動軌跡における不連続の程度によって決定される。すなわち、被検体の移動速度によってアーチファクト程度は変わる。通常用いられているSDCT装置では、一般的にらせんピッチ（被検体移動速度の周回軸位置でのX線ビームの厚みに対する比率）は、対向データを考慮して全撮影領域をほぼ完全にカバーできる「2」程度まで使用されている。

#### 【0030】



図 1 3 及び図 1 4 は、この実施の形態に係る断層撮影装置の平行ビーム逆投影用の重み関数の一例を示す図であり、図 1 3 は  $\epsilon = 0.2$  の場合を示し、図 1 4 は  $\epsilon = 0.8$  の場合を示す。図 1 3 及び図 1 4 に示す重み関数は、平行ビームの投影位相  $\theta$ 、逆投影位相角度幅インデックス  $F$  (逆投影位相幅は  $2 F \pi$  であり、 $F \geq 0.5$ )、補正角度幅インデックス  $\epsilon$  (補正角度幅は  $\epsilon \pi$  であり、 $0 \leq \epsilon \leq 2 F - 1$ ) とした場合に、 $2^{(N-1)} \leq F - \epsilon / 2 < 2^N$  ( $N$  は 0 以上の整数)

から得られる  $N$  を用いて、下式によって算出される。

$$\begin{aligned}
 w(\theta) &= 0 && \text{if } [\theta < P_0 \pi] \\
 w(\theta) &= (P_1 \pi + \theta) W_1 / (\epsilon \pi) && \text{if } [P_0 \pi \leq \theta < P_1 \pi, \epsilon > 0] \\
 w(\theta) &= 0 && \text{if } [P_0 \pi \leq \theta < P_1 \pi, \epsilon = 0] \\
 w(\theta) &= W_1 * V_2 * 2 / \epsilon && \text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi, \epsilon > 0, V_1 = 0] \\
 w(\theta) &= ((\theta - P_1 \pi) * (W_1 * 4 / \epsilon) / 2 \pi) + W_1 * V_2 * 2 / \epsilon && \text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi, \epsilon > 0, V_1 \neq 0] \\
 w(\theta) &= W_1 && \text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi, \epsilon = 0] \\
 w(\theta) &= ((\theta - P_3 \pi) * W_1 / (\epsilon \pi)) + W_2 && \text{if } [P_2 \pi \leq \theta < P_3 \pi, \epsilon > 0] \\
 w(\theta) &= W_2 && \text{if } [P_3 \pi \leq \theta < P_4 \pi] \\
 w(\theta) &= ((P_4 \pi - \theta) * W_1 / (\epsilon \pi)) + W_2 && \text{if } [P_4 \pi \leq \theta < P_5 \pi, \epsilon > 0] \\
 w(\theta) &= W_1 * V_2 * 2 / \epsilon && \text{if } [P_5 \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon > 0, V_1 = 0] \\
 w(\theta) &= ((P_6 \pi - \theta) * (W_1 * 4 / \epsilon) / 2 \pi) + W_1 * V_2 * 2 / \epsilon && \text{if } [P_5 \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon > 0, V_1 \neq 0] \\
 w(\theta) &= W_1 && \text{if } [P_5 \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon = 0] \\
 w(\theta) &= (P_7 \pi - \theta) W_1 / (\epsilon \pi) && \text{if } [P_6 \pi \leq \theta < P_7 \pi, \epsilon > 0] \\
 w(\theta) &= 0 && \text{if } [P_6 \pi \leq \theta < P_7 \pi, \epsilon = 0] \\
 w(\theta) &= 0 && \text{if } [P_7 \pi \leq \theta]
 \end{aligned}$$

ここで、上式における各変数は次のようになる。

$$V_1 = \epsilon - F + 2^{(N-1)} \quad \text{if } [\epsilon - F + 2^{(N-1)} > 0]$$

$$V_2 = \epsilon / 2 - V_1$$

$$M = 2^N$$

$$W_1 = 1 / 2^N$$

$$W_2 = 1 / 2^{(N-1)}$$

$$W_2 = 2 * W_1$$

$$W_2 = (2 * (M - F) + \epsilon) * W_1 / \epsilon + W_1$$

$$AA = -F$$

$$BB = -F + \epsilon$$

$$CC = M - F$$

$$DD = M - F + \epsilon$$

$$EE = F - M - \epsilon$$

$$\text{if } [\epsilon \leq 0]$$

$$\text{if } [\epsilon > 0, F < M]$$

$$\text{if } [\epsilon > 0, M \leq F]$$

FF=F-M	
GG=F- $\epsilon$	
HH=F	
P <sub>0</sub> =AA	
P <sub>1</sub> =BB	if $[F < M/2 + \epsilon/2]$
P <sub>1</sub> =EE	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$
P <sub>1</sub> =BB	if $[M/2 + \epsilon \leq F]$
P <sub>2</sub> =BB	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$
P <sub>2</sub> =EE	if $[M/2 + \epsilon \leq F < M + \epsilon/2]$
P <sub>2</sub> =CC	if $[M + \epsilon/2 \leq F]$
P <sub>3</sub> =FF	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M]$
P <sub>3</sub> =CC	if $[M \leq F < M + \epsilon/2]$
P <sub>3</sub> =EE	if $[M + \epsilon/2 \leq F]$
P <sub>4</sub> =CC	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M]$
P <sub>4</sub> =FF	if $[M \leq F < M + \epsilon/2]$
P <sub>4</sub> =DD	if $[M + \epsilon/2 \leq F]$
P <sub>5</sub> =GG	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$
P <sub>5</sub> =DD	if $[M/2 + \epsilon \leq F < M + \epsilon/2]$
P <sub>5</sub> =FF	if $[M + \epsilon/2 \leq F]$
P <sub>6</sub> =GG	if $[F < M/2 + \epsilon/2]$
P <sub>6</sub> =DD	if $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$
P <sub>6</sub> =GG	if $[M/2 + \epsilon \leq F]$
P <sub>7</sub> =HH	

## 【0031】

上記重み関数は、逆投影位相幅インデックスFを設定することで $\pi$ 以上の任意の逆投影位相幅での重みを実現する。また、上記重み関数では、補正角度幅インデックス $\epsilon$ を設定することで逆投影位相幅が $1.3\pi$ や $2\pi$ などのいかなる値を有する場合においてもデータ端部の不連続性を補正することができるという一定の補正効果を得ることができる。さらに、上記重み関数はパラレルビームの全てのチャンネル位置（ファンビームのファン角度位置に対応した位置）に対して、同一の重み関数を用いることができ、少ないメモリ量で重みを格納できる。

## 【0032】

なお、上記重み関数は、Fと $\epsilon$ の値によって、図13(a)～(c)及び図14(a)～(c)のように重み形状を変えることができる。図13(a)は補正角度幅インデックス $\epsilon=0$ 、2、逆投影位相幅インデックスF=0.9の場合、図13(b)はF=1.0の場合、図13(c)はF=1.1の場合をそれぞれ示し、図14(a)は補正角度幅インデックス $\epsilon=0$ 、8、逆投影位相幅インデックスF=0.9の場合、図14(b)は $\epsilon=0$ 、8、F=1.0の場合、図14(c)は $\epsilon=0$ 、8、F=1.1の場合をそれぞれ示す。ここでは、上記以外の場合の重み関数形状に関しては省略してある。また、Mは $2^N$ であり、Nは $2^{(N-1)} \leq F - \epsilon/2 < 2^N$  (Nは0以上の整数)である。なお、補正角度幅インデックス $\epsilon=0$ の場合には、従来と同様の画質を重視した投影像を得ることが可能である。

## 【0033】

この実施の形態に従った方法では、非特許文献1～4に記載されたような位相幅の限定された重みを用いることなく、ファンビーム及びコーンビームデータのCT再構成に冗長データを含むことができる。また、この実施の形態に係る断層撮影装置は、画像生成のための方法と組み合わせられ、具体的には、先に本願出願人が出願した特願2002-304463号や特願2003-78125号などに記載されたような、並び替え処理(rebinning)を用いた再構成処理に適用することで、画像を取得することができる。

## 【0034】

図15は、この実施の形態に係る断層撮影装置のファンビーム逆投影用の重み関数の一例を示す図である。図15に示す重み関数は、ファンビームの投影位相 $\beta$ 、ファン角 $\gamma$ 、逆投影位相角度幅インデックス $F$ （逆投影位相幅は $2F\pi$ であり、 $F \geq 0.5$ ）、補正角度幅インデックス $\epsilon$ （補正角度幅は $\epsilon\pi$ であり、 $0 \leq \epsilon \leq 2F-1$ ）とした場合に、 $2^{(N-1)} \leq F - \epsilon/2 < 2^N$ （ $N$ は0以上の整数）から得られる $N$ を用いて、下式によって算出される。

$$\begin{aligned}
 w(\theta, \gamma) &= 0 && \text{if } [\theta < P_0 \pi] \\
 w(\theta, \gamma) &= (P_7 \pi + \theta) W_1 / (\epsilon \pi) && \text{if } [P_0 \pi \leq \theta < P_1 \pi, \epsilon > 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= 0 && \text{if } [P_0 \pi \leq \theta < P_1 \pi, \epsilon = 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= W_1 * V_2 * 2 / \epsilon && \text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi + \alpha \pi, \epsilon > 0, V_1 = 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= ((\theta - P_1 \pi) * (W_1 * 4 / \epsilon) / 2 \pi) + W_1 * V_2 * 2 / \epsilon && \text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi + \alpha \pi, \epsilon > 0, V_1 \neq 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= W_1 && \text{if } [P_1 \pi \leq \theta < P_2 \pi + \alpha \pi, \epsilon = 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= ((\theta - P_3 \pi - \alpha \pi) * W_1 / (\epsilon \pi)) + W_2 && \text{if } [P_2 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_3 \pi + \alpha \pi, \epsilon > 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= W_2 && \text{if } [P_3 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_4 \pi + \alpha \pi] \\
 w(\theta, \gamma) &= ((P_4 \pi + \alpha \pi - \theta) * W_1 / (\epsilon \pi)) + W_2 && \text{if } [P_4 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_5 \pi + \alpha \pi, \epsilon > 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= W_1 * V_2 * 2 / \epsilon && \text{if } [P_5 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon > 0, V_1 = 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= ((P_6 \pi - \theta) * (W_1 * 4 / \epsilon) / 2 \pi) + W_1 * V_2 * 2 / \epsilon && \text{if } [P_5 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon > 0, V_1 \neq 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= W_1 && \text{if } [P_5 \pi + \alpha \pi \leq \theta < P_6 \pi, \epsilon = 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= (P_7 \pi - \theta) W_1 / (\epsilon \pi) && \text{if } [P_6 \pi \leq \theta < P_7 \pi, \epsilon > 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= 0 && \text{if } [P_6 \pi \leq \theta < P_7 \pi, \epsilon = 0] \\
 w(\theta, \gamma) &= 0 && \text{if } [P_7 \pi \leq \theta]
 \end{aligned}$$

ここで、上式における各変数は、次のようになる。

$$V_1 = \epsilon - F + 2^{(N-1)} \quad \text{if } [\epsilon - F + 2^{(N-1)} > 0]$$

$$V_2 = \epsilon / 2 - V_1$$

$$M = 2^N$$

$$W_1 = 1/2^N$$

$$W_2 = 1/2^{(N-1)}$$

$$W_2 = 2 * W_1$$

$$W_2 = (2 * (M - F) + \epsilon) * W_1 / \epsilon + W_1$$

$$AA = -F$$

$$BB = -F + \epsilon$$

$$CC = M - F$$

$$DD = M - F + \epsilon$$

$$EE = F - M - \epsilon$$

$$FF = F - M$$

$$\text{if } [\epsilon \leq 0]$$

$$\text{if } [\epsilon > 0, F < M]$$

$$\text{if } [\epsilon > 0, M \leq F]$$

GG=F- $\epsilon$ 

HH=F

P<sub>0</sub>=AAP<sub>1</sub>=BBP<sub>1</sub>=EEP<sub>1</sub>=BBP<sub>2</sub>=BBP<sub>2</sub>=EEP<sub>2</sub>=CCP<sub>3</sub>=FFP<sub>3</sub>=CCP<sub>3</sub>=EEP<sub>4</sub>=CCP<sub>4</sub>=FFP<sub>4</sub>=DDP<sub>5</sub>=GGP<sub>5</sub>=DDP<sub>5</sub>=FFP<sub>6</sub>=GGP<sub>6</sub>=DDP<sub>6</sub>=GGP<sub>7</sub>=HHif  $[F < M/2 + \epsilon/2]$ if  $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$ if  $[M/2 + \epsilon \leq F]$ if  $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$ if  $[M/2 + \epsilon \leq F < M + \epsilon/2]$ if  $[M + \epsilon/2 \leq F]$ if  $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M]$ if  $[M \leq F < M + \epsilon/2]$ if  $[M + \epsilon/2 \leq F]$ if  $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M]$ if  $[M \leq F < M + \epsilon/2]$ if  $[M + \epsilon/2 \leq F]$ if  $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$ if  $[M/2 + \epsilon \leq F < M + \epsilon/2]$ if  $[M + \epsilon/2 \leq F]$ if  $[F < M/2 + \epsilon/2]$ if  $[M/2 + \epsilon/2 \leq F < M/2 + \epsilon]$ if  $[M/2 + \epsilon \leq F]$ 

## 【0035】

上記重み関数は、逆投影位相幅インデックスFを設定することで $\pi$ 以上の任意の逆投影位相幅での重みを実現する。また、上記重み関数では、補正角度幅 $\epsilon$ を設定することで逆投影位相幅が $1.3\pi$ や $2\pi$ などのいかなる値を有する場合においてもデータ端部の不連続性を補正することができるという一定の補正効果を得ることができる。さらに、上記重み関数はパラレルビームの全てのチャンネル位置（ファンビームのファン角度位置に対応した位置）に対して、同一の重み関数を用いることができ、少ないメモリ量で重みを格納できる。

## 【0036】

また、上記重み関数は、パラレルビームにおきかえ、 $\gamma=0$ において見ると、Fと $\epsilon$ の値によって、図13(a)～(c)、図14(a)～(c)のように重み形状を変えることができる。 $\gamma=0$ において、 $F=M/2+\epsilon/2$ 又は $F=M/2+\epsilon$ となる場合には、図13(c)のようになり、 $M/2+\epsilon < F < M+\epsilon/2$ となる場合には図13(a)のようになり、 $M/2+\epsilon < F=M$ の場合には、図13(b)のようになる。ここでは、上記以外の場合の重み関数形状に関しては省略する。ここで、Mは $M=2^N$ であり、Nは $2^{(N-1)} \leq F - \epsilon/2 < 2^N$  (Nは0以上の整数)である。また、上記重み関数は、Fと $\epsilon$ の値によって、図13及び図14に示すように重み形状を変えることができる。その値が大きいほど、動きの影響は補正され、その値が小さいほどノイズが低減する。部位に応じて $\epsilon$ の値を変えることで、より良好な結果を取得することが可能となる。

## 【0037】

この実施の形態に従った方法では、非特許文献1に記載されたような位相幅の限定された重みを用いることなく、ファンビーム及びコーンビームデータのCT再構成に冗長データを含むことができる。また、この実施の形態に係る断層撮影装置は、画像生成のための方法と組み合わせられ、具体的には、特開平8-187240号公報などに記載されたような、並び替え処理(rebinning)を用いない再構成処理に適用することで、画像を取得することができる。

## 【0038】

本発明の様々な実施例に関する以上の記述から、本発明の目的が達成されたことは明らかである。

かである。本発明を詳細にわたって記述すると共に図示したが、これらは説明及び例示のみを意図したものであって、これらに限定されるものではない。

#### 【0039】

また、本実施の形態では、X線を用いた断層撮影装置を用いているが、これに限定されず、中性子線や陽電子やガンマ線や光を用いた断層撮影装置にも適用可能である。また、スキャン方式も第1世代、第2世代、第3世代、第4世代といずれの方式かに限定されるものではなく、X線源を複数搭載した多管球CTやカソードスキャンCTや電子ビームCTやCアーム型CTに対しても使用することが可能である。また、検出器形状もX線源を中心とした円筒表面に配置された検出器、平面検出器、X線源を中心とした球面に配置された検出器、周回軸を中心とした円筒表面に配置された検出器などいずれの検出器にも適用することが可能である。また、本発明は、螺旋軌道スキャンに限定されず、円軌道スキャンにも適用することが可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【0040】

【図1】単一列検出器型X線コンピュータ断層撮影装置(SDCT)と多列検出器型X線コンピュータ断層撮影装置(MDCT)との基本的な構成の違いを示す図である。

【図2】X線CT装置のジオメトリを説明するための図である。

【図3】X線CT装置のファン角を説明するための図である。

【図4】X線CT装置における撮影方式を説明するための図である。

【図5】撮影時間と被検体の動きを説明するための図である。

【図6】X線CT装置におけるデータの冗長性を説明するための図である。

【図7】放射線源が $\pi + 2\gamma$  m位相回転して得られたデータから逆投影を行う場合の一例を示す図である。

【図8】最小完全データセットを示すサイノグラムの一例を示す図である。

【図9】サイノグラムが仮想サイノグラム上で2つの三角形領域を含む3つ以下の領域に区分され、2つの三角形領域に対して周回位相方向に異なる重みが与えられる場合の一例を示す図である。

【図10】ファンビームから平行ビームへの並び替えを説明するための図である。

【図11】画像ノイズと撮影時間の関係を説明するための図である。

【図12】本発明に係る断層撮影装置の一実施の形態である多列検出器型X線断層撮影装置の全体構成を示す図である。

【図13】この実施の形態に係る断層撮影装置の平行ビーム逆投影用の重み関数であり、 $\epsilon = 0.2$ の場合の一例を示す図である。

【図14】この実施の形態に係る断層撮影装置の平行ビーム逆投影用の重み関数であり、 $\epsilon = 0.8$ の場合の一例を示す図である。

【図15】この実施の形態に係る断層撮影装置のファンビーム逆投影用の重み関数の一例を示す図である。

#### 【符号の説明】

##### 【0041】

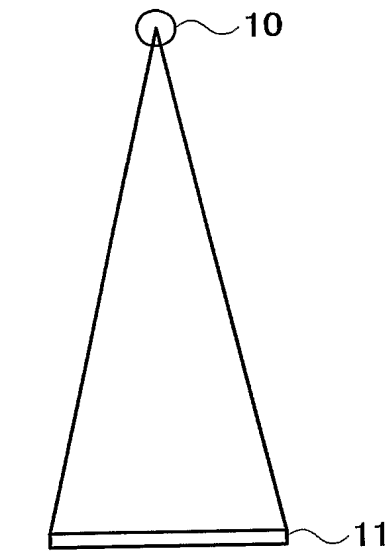
- 10...X線源
- 11, 12, 111, 112...X線検出器
- 20, 30...再構成画像
- 40...スキャナ
- 400...中央制御装置
- 401...X線制御装置
- 402...高電圧発生装置
- 403...高圧スイッチングユニット
- 404...X線発生装置

- 4 0 5 … X線検出器
- 4 0 6 … プリアンプ
- 4 0 7 … スキャナ制御装置
- 4 0 8 … 駆動装置
- 4 0 9 … コリメータ制御装置
- 4 1 0 … 寝台制御装置
- 4 1 1 … 寝台移動計測装置
- 5 0 … 操作ユニット
- 5 1 … 入出力装置
- 5 2 … 演算装置

【書類名】 図面

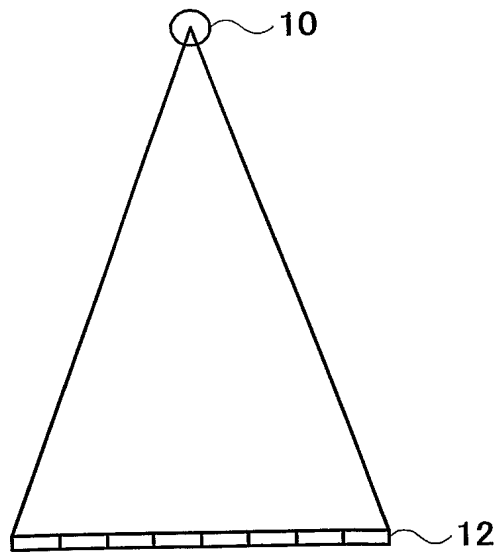
【図 1】

(A)



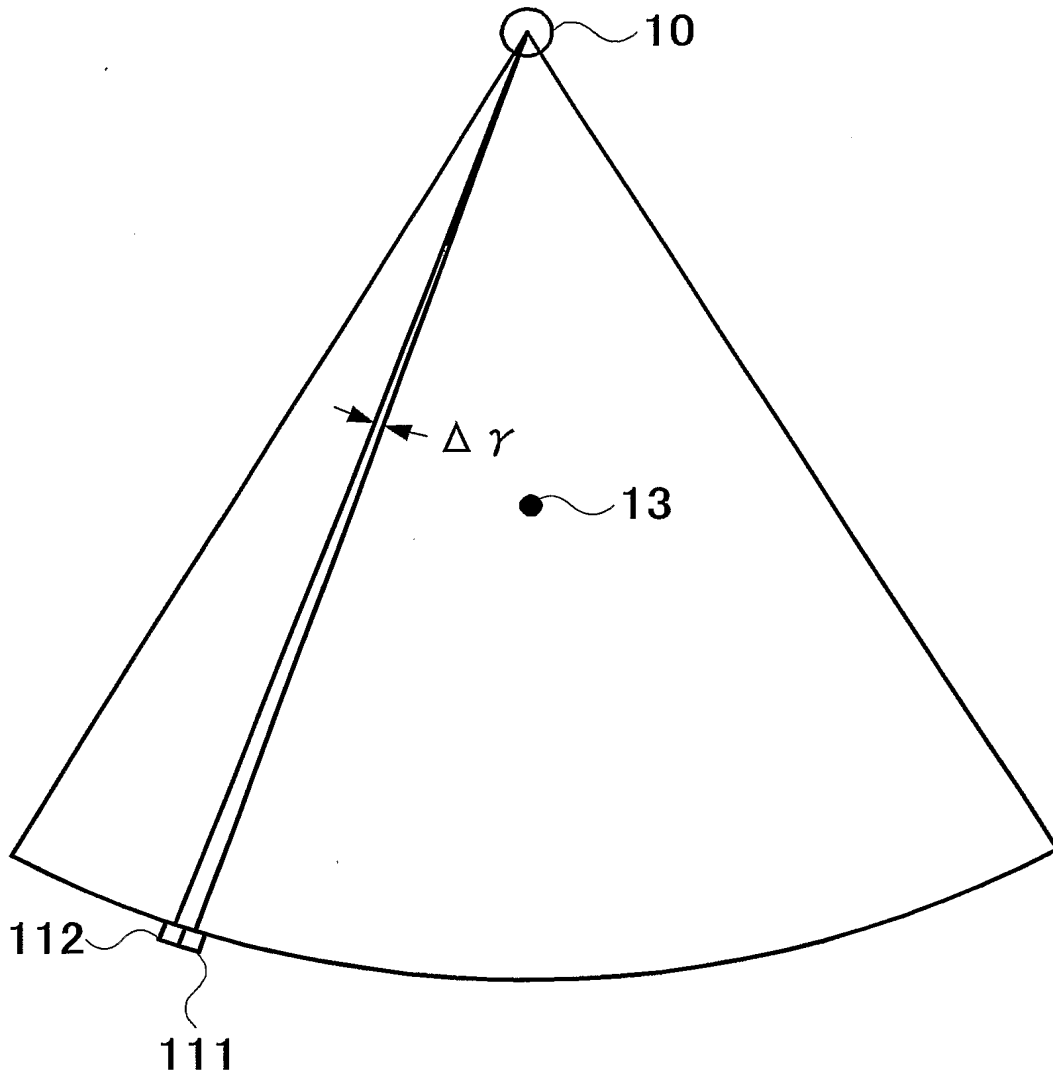
単行列検出器型CT

(B)



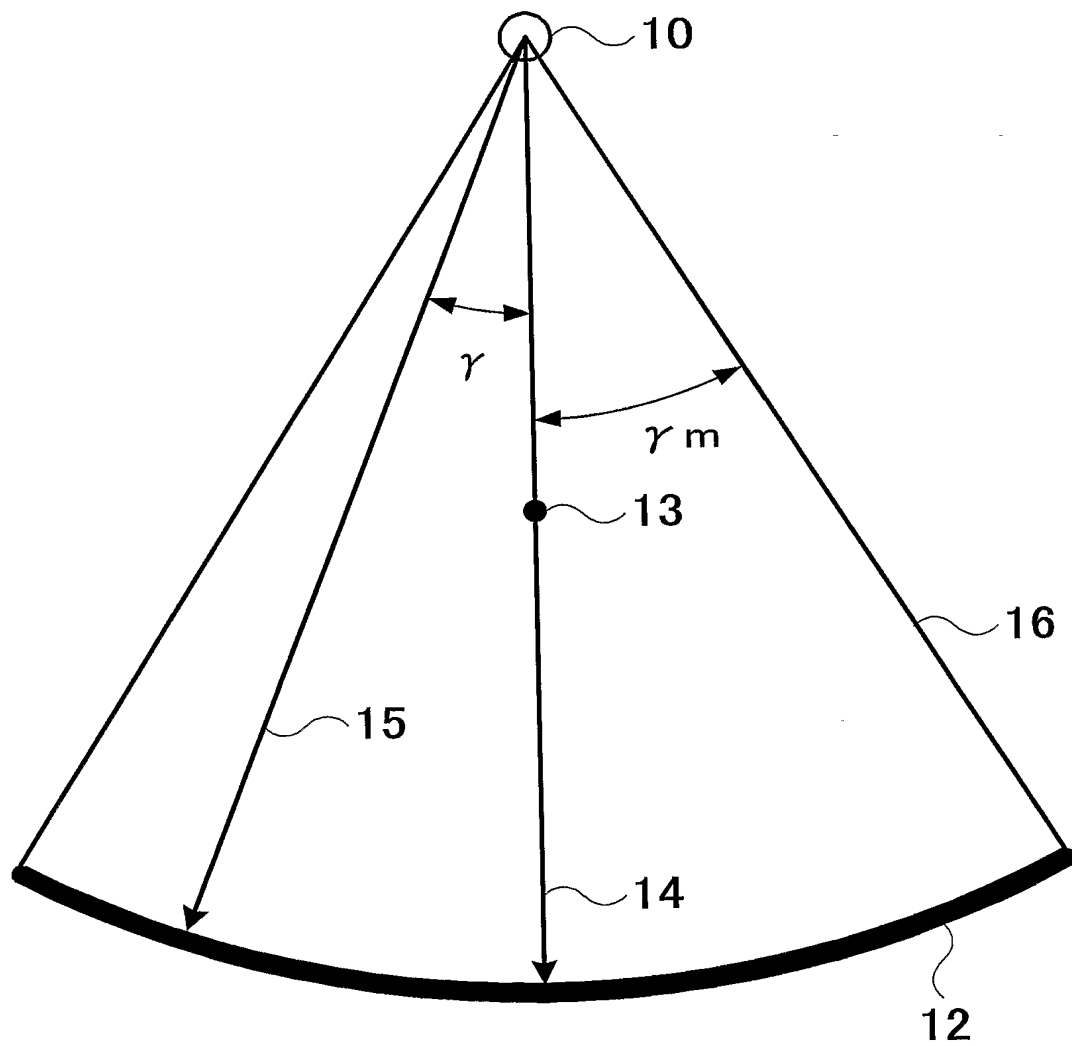
多列検出器型CT

【図 2】

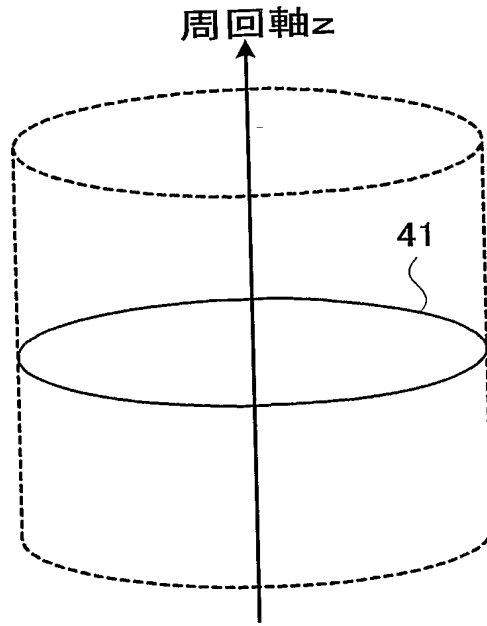




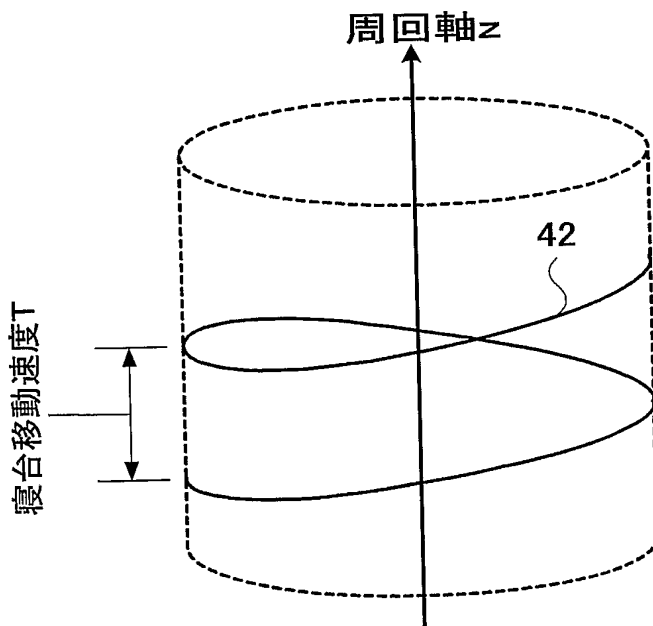
【図 3】



【図 4】

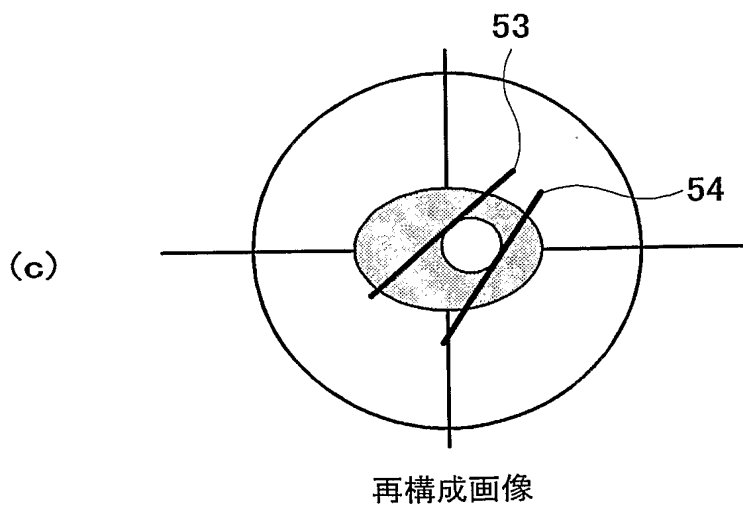
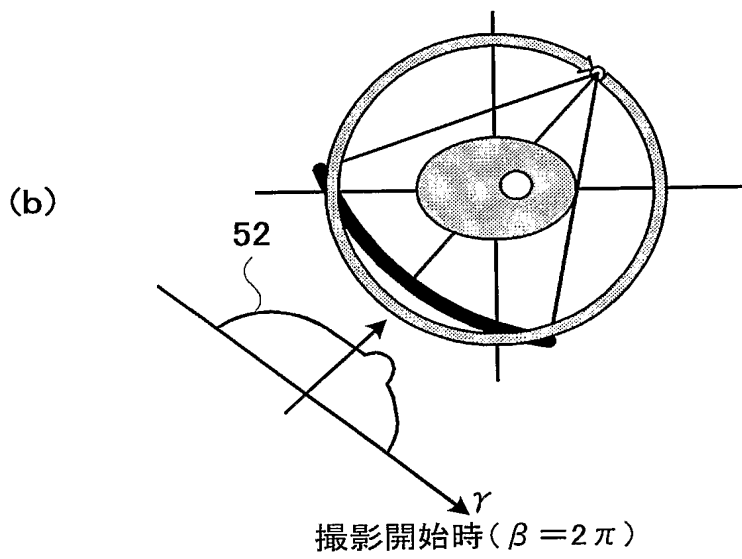
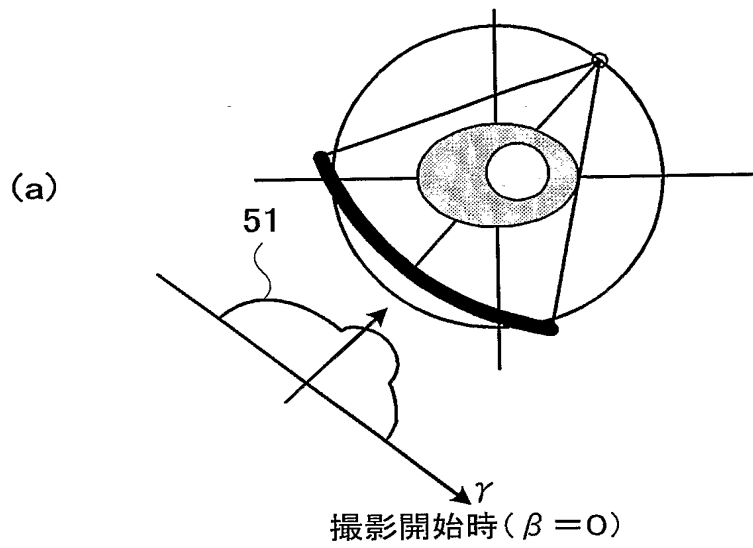


(A) ノーマルスキャン



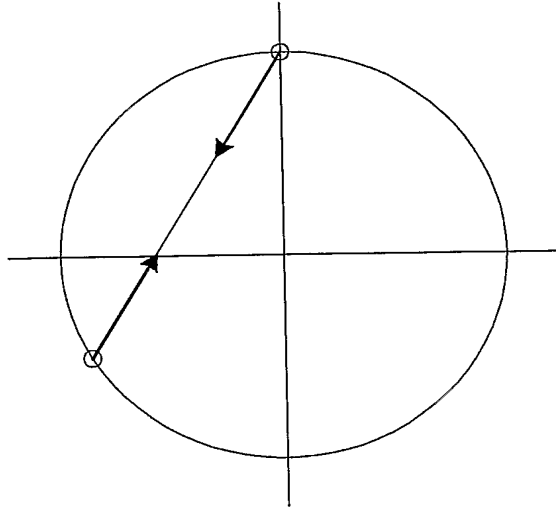
(B) ラセンスキャン

【図 5】

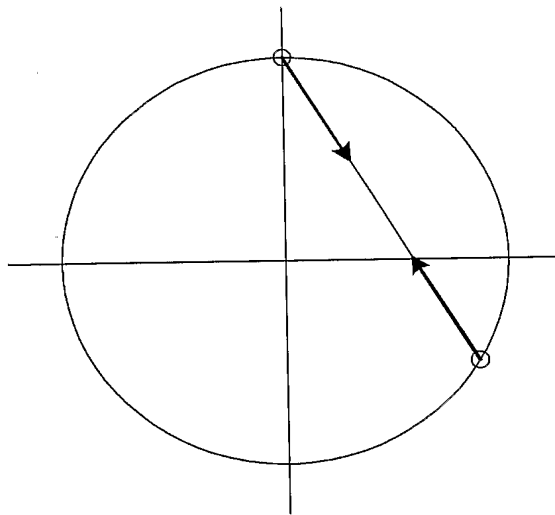


【図 6】

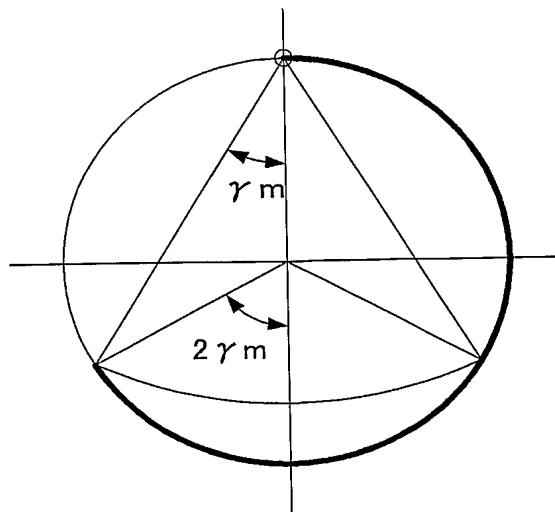
(a)



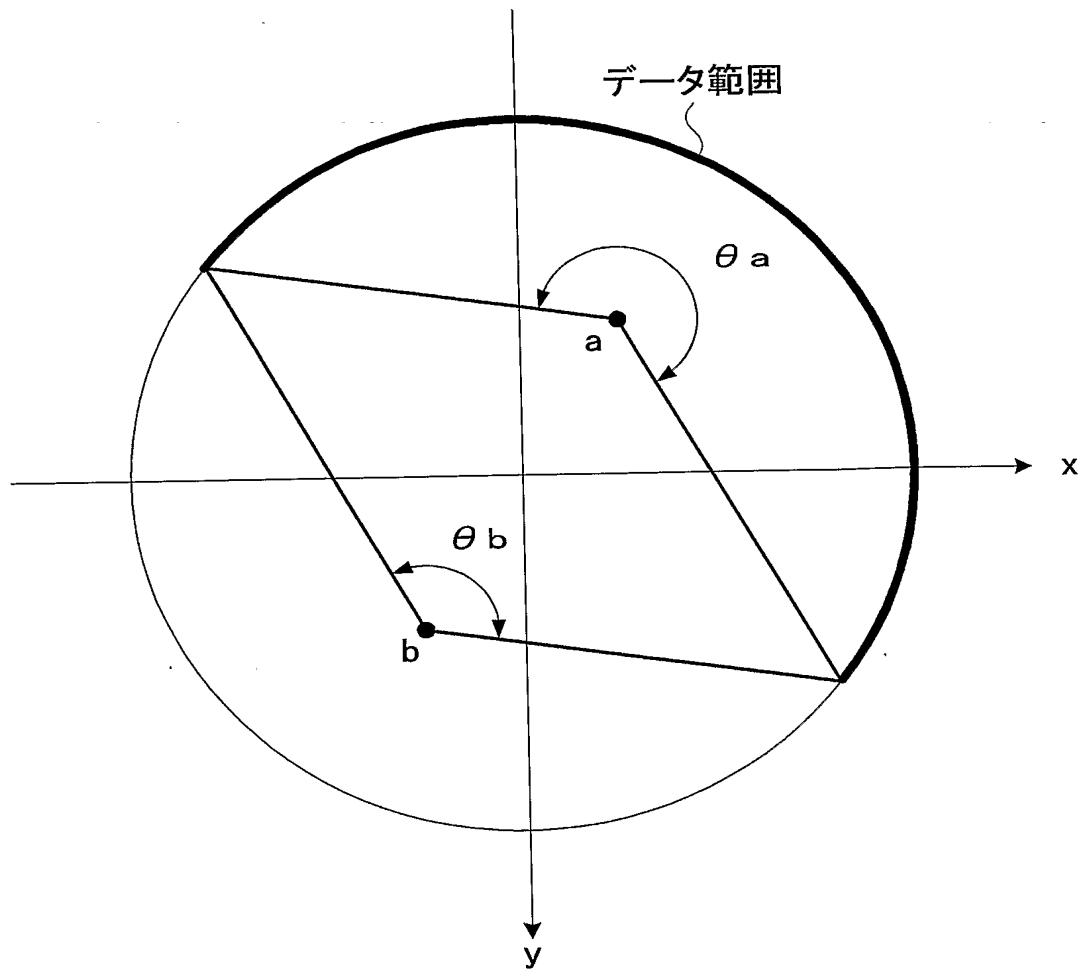
(b)



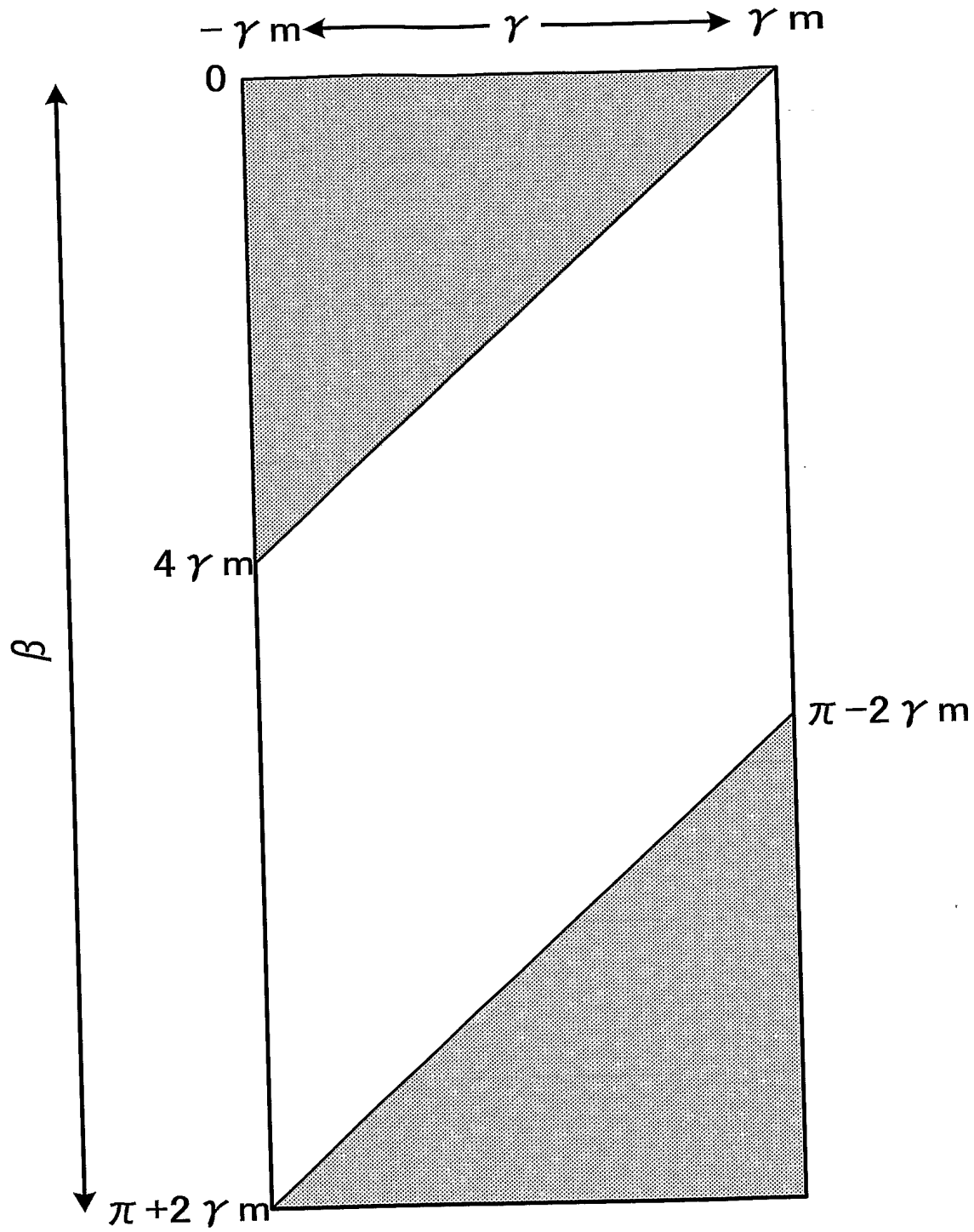
(c)



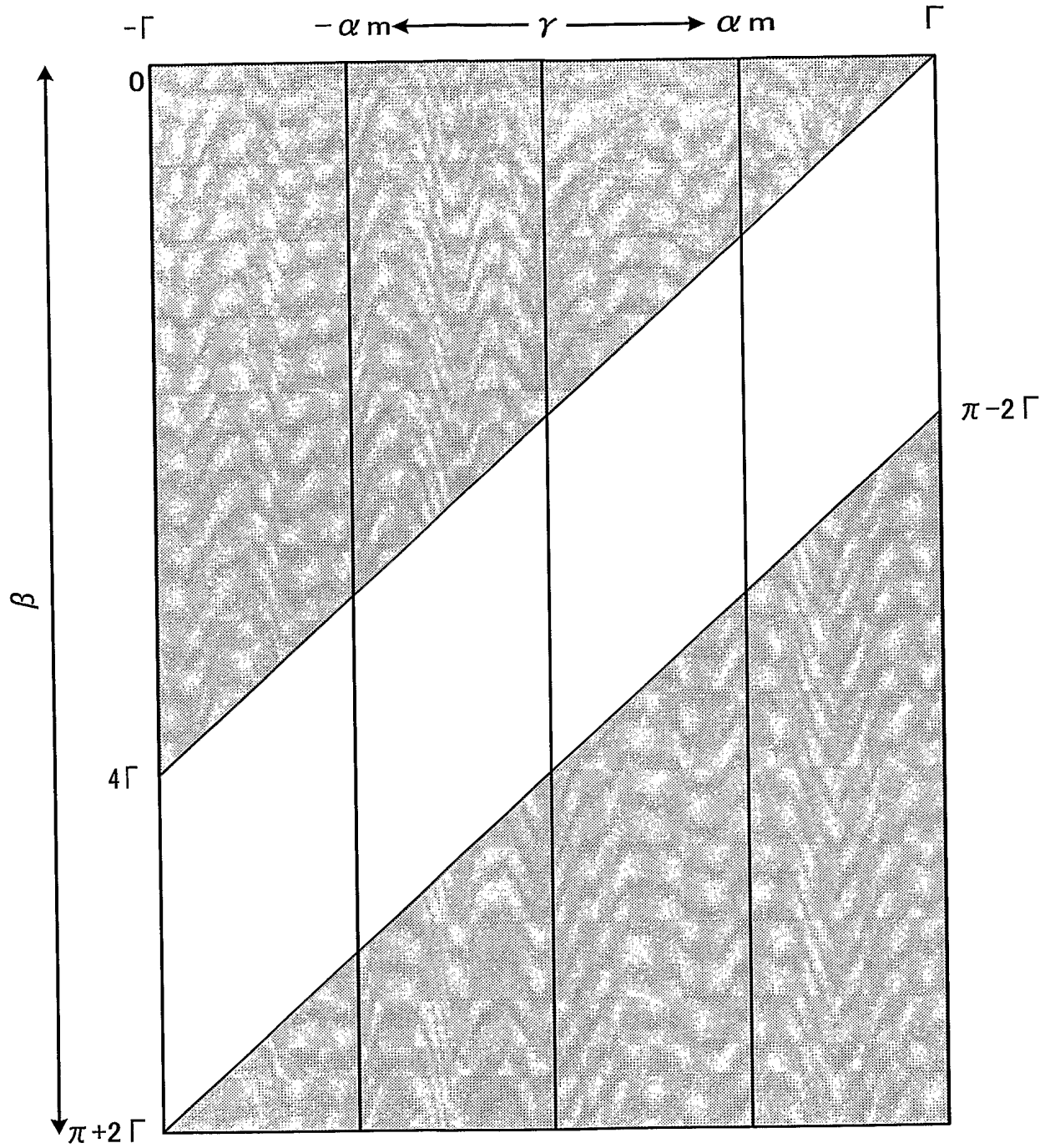
【図 7】



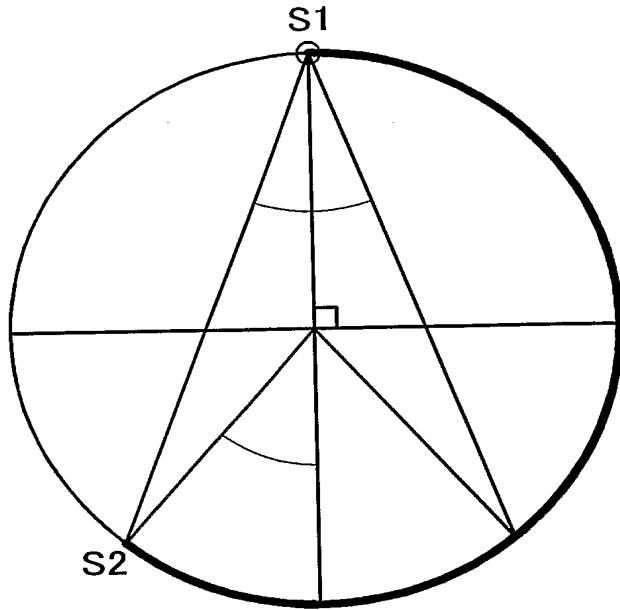
【図 8】



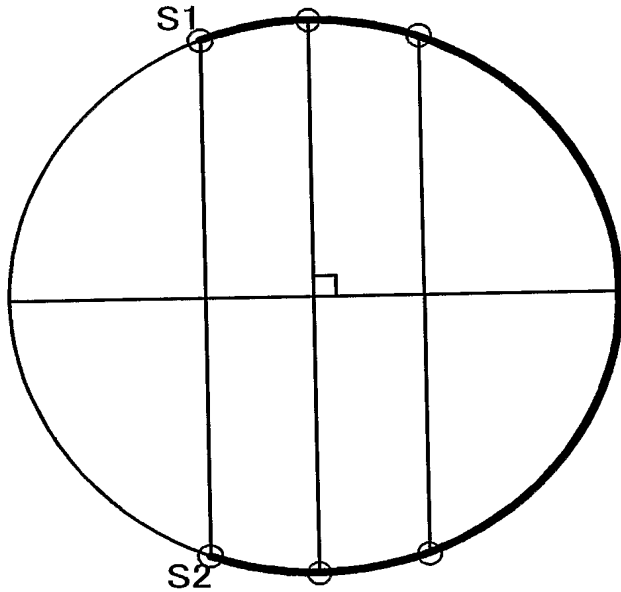
【図 9】



【図 10】



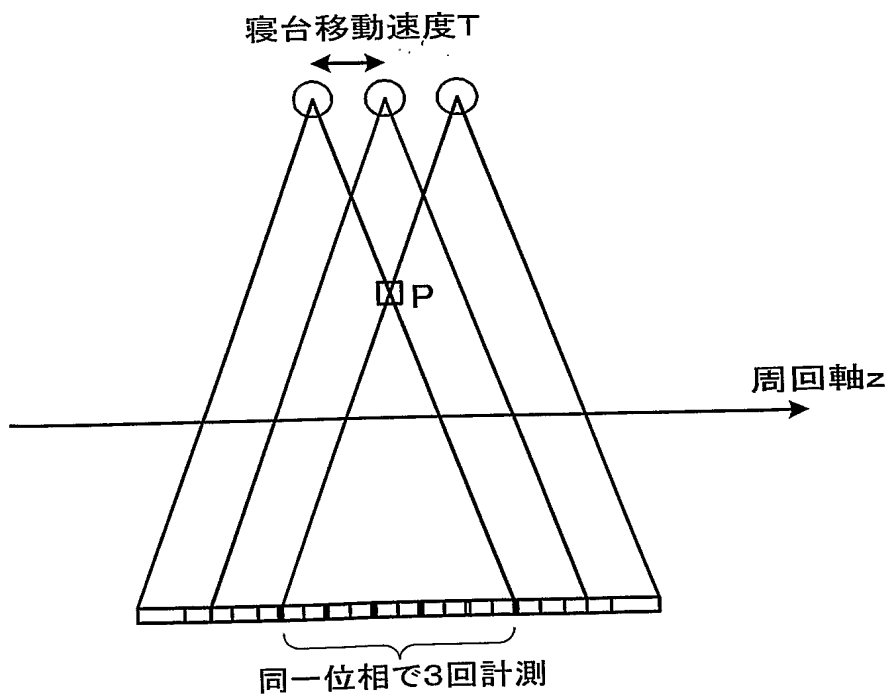
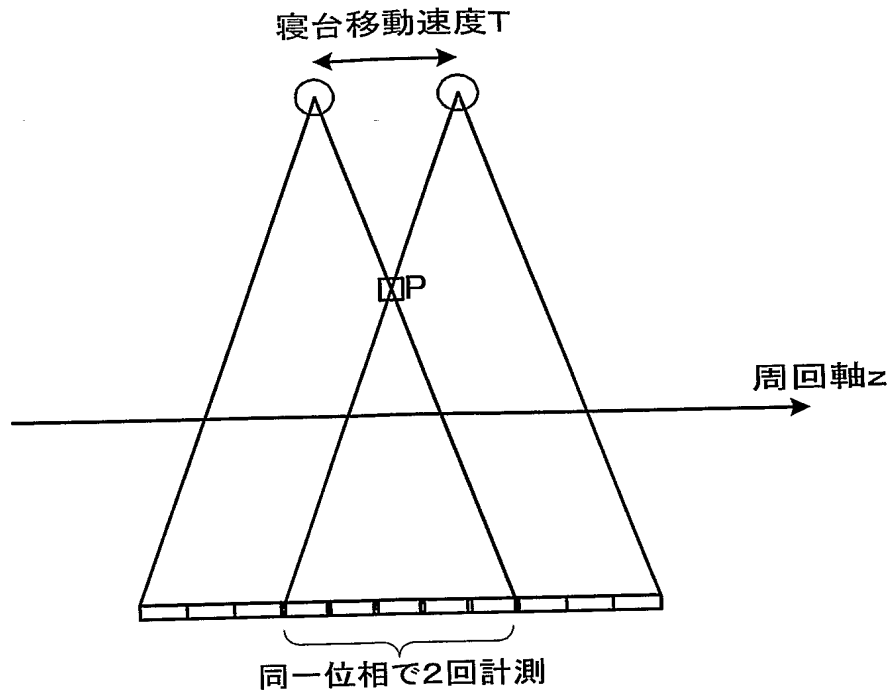
(a) ファンビームにおける180度再構成



(b) パラレルビームにおける180度再構成



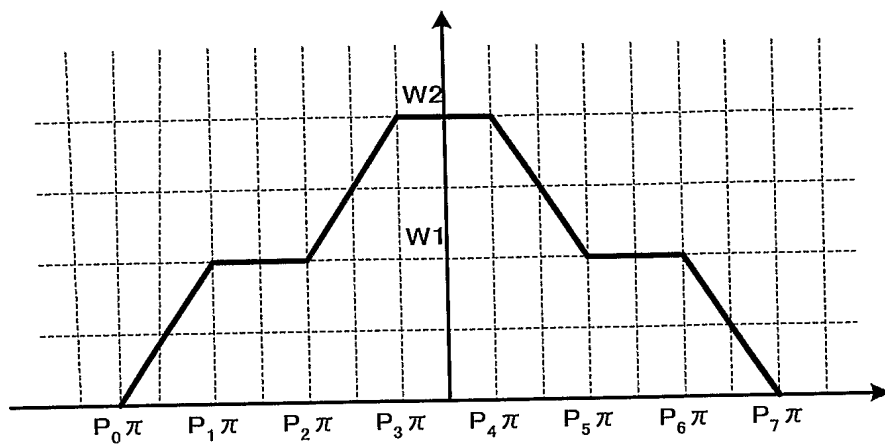
【図11】



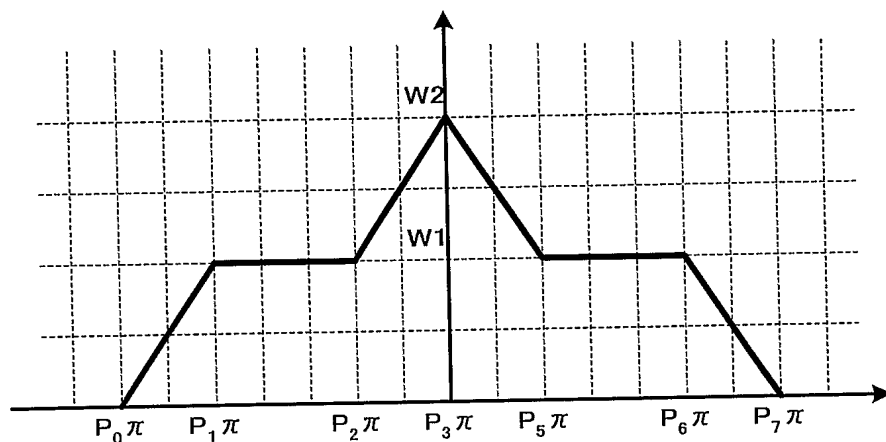


【図 13】

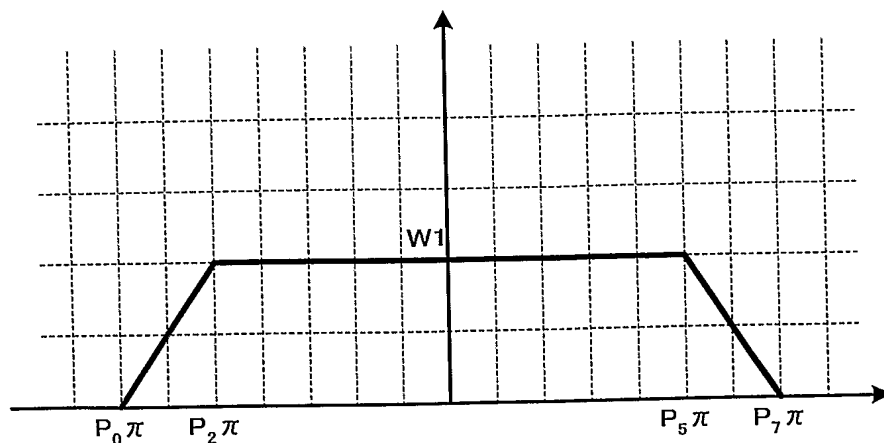
(a)  
 $\varepsilon = 0.2$   
 $F = 0.9$



(b)  
 $\varepsilon = 0.2$   
 $F = 1.0$

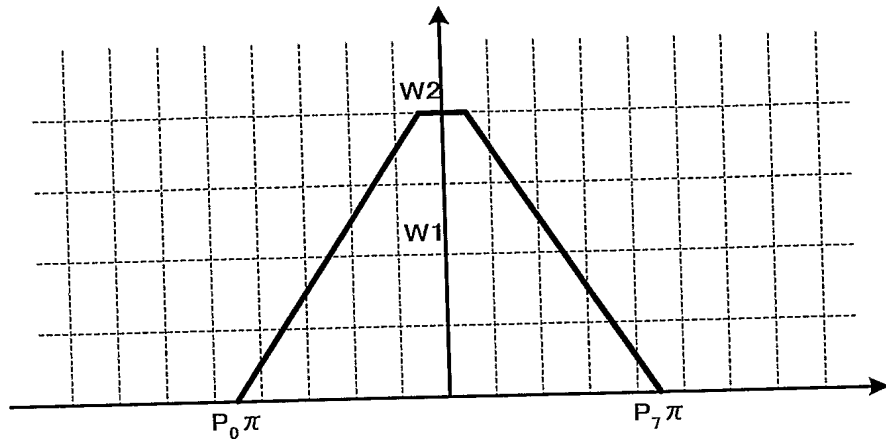


(c)  
 $\varepsilon = 0.2$   
 $F = 1.1$

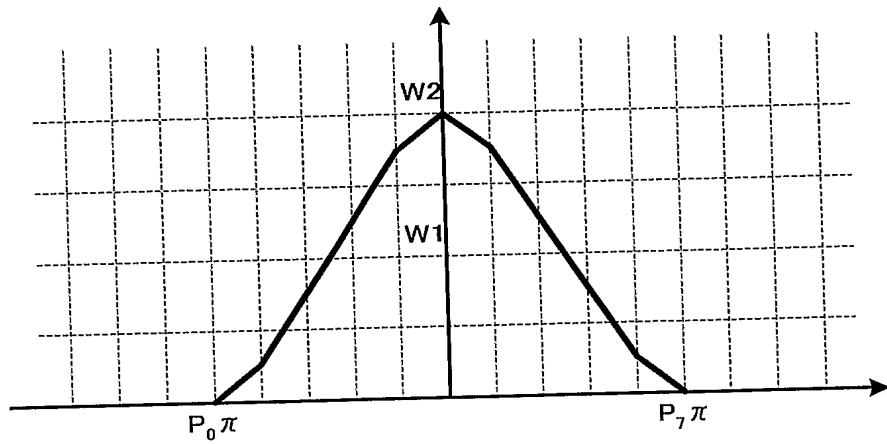


【図 14】

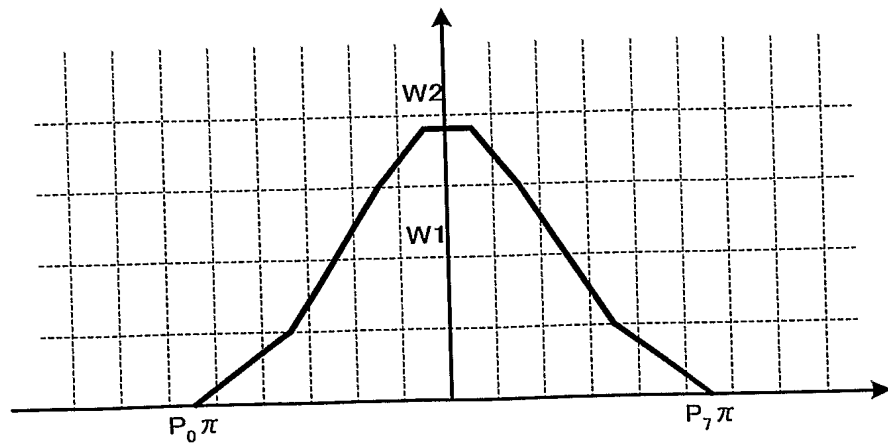
(a)  
 $\varepsilon = 0.8$   
 $F = 0.9$



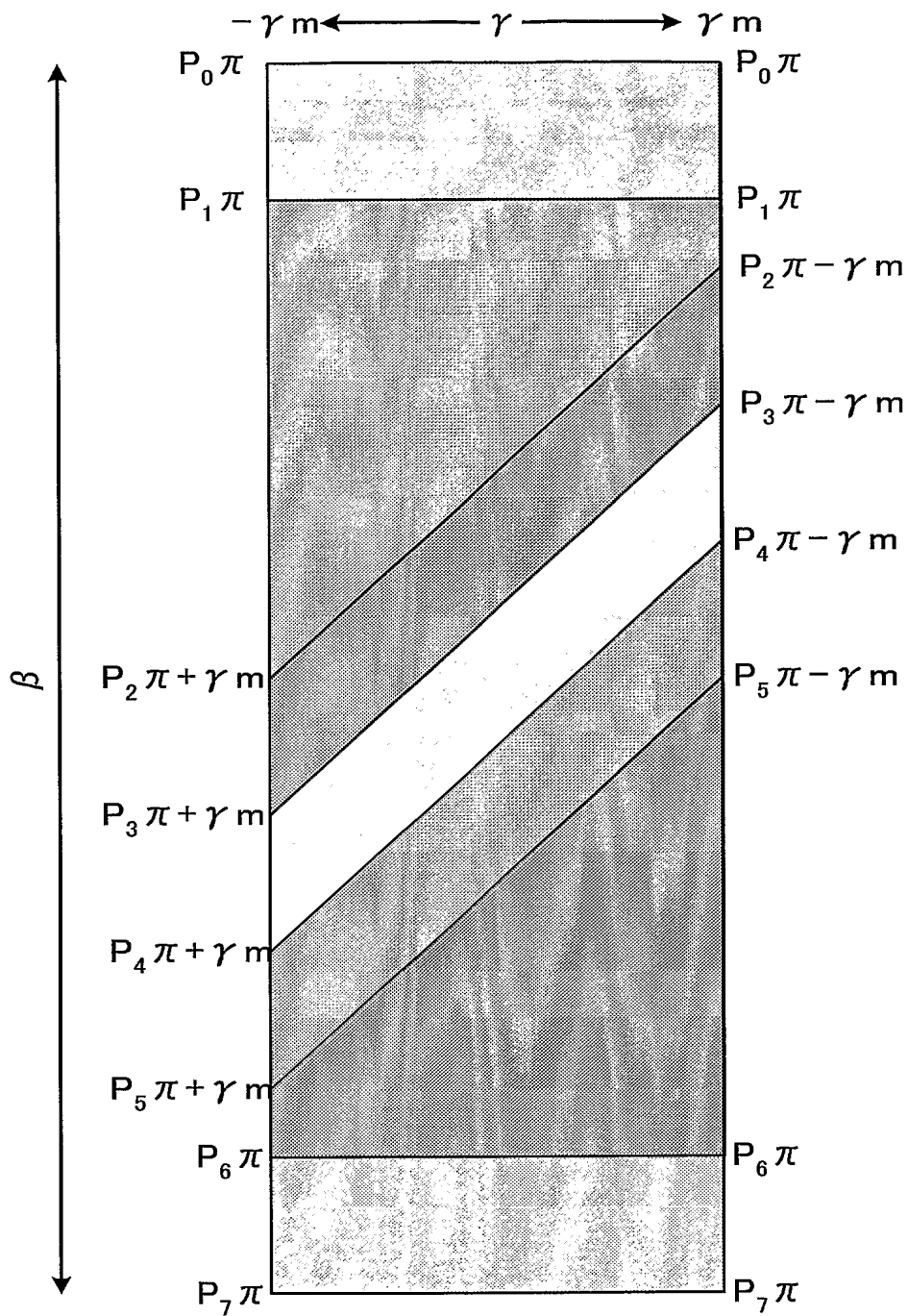
(b)  
 $\varepsilon = 0.8$   
 $F = 1.0$



(c)  
 $\varepsilon = 0.8$   
 $F = 1.1$



【図 15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高画質な断層撮影像を生成できるようにする。

【解決手段】 断層撮影装置は、被対象物を透過した透過線を二次元的に配列された検出手段で検出し、検出された投影データから被対象物の関心領域の断層撮影像を作成する。このときの断層撮影像の再構成方法として、補正角度幅インデックス  $\epsilon$  によって決定される補正角度幅  $\epsilon \pi$  と逆投影位相幅インデックス  $F$  によって決定される逆投影位相幅  $2 F \pi$  を設定し、補正角度幅  $\epsilon \pi$  及び逆投影位相幅  $2 F \pi$  に応じた重み係数を求め、投影データに対して重み係数に基づいた重み付け処理を実行して重み付けされた投影データを求め、重み付けされた投影データに基づいて断層撮影像を再構成するようにした。

【選択図】 図 1 3

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 4 - 0 3 8 8 3 3
受付番号	5 0 4 0 0 2 4 7 8 4 0
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 6 年 3 月 4 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成16年 2月16日

特願 2 0 0 4 - 0 3 8 8 3 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 1 5 3 4 9 8 ]

1 . 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区内神田 1 丁目 1 番 1 4 号

氏 名

株式会社日立メディコ